

La economía del cambio climático  
en Centroamérica

Reporte técnico 2011

**Alicia Bárcena**  
Secretaria Ejecutiva  
**Antonio Prado**  
Secretario Ejecutivo Adjunto  
**Hugo E. Beteta**  
Director  
Sede Subregional de la CEPAL en México  
**Joseluis Samaniego**  
Director  
División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos  
y Punto focal de cambio climático de la CEPAL  
**Luis Miguel Galindo**  
Jefe de la Unidad de Cambio Climático  
División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos  
**Julie Lennox**  
Punto focal de cambio climático de la  
Sede Subregional de la CEPAL en México

Esta publicación fue realizada en el marco del Convenio entre el Ministerio Británico para el Desarrollo Internacional (DFID) y la Sede Subregional en México de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y el Convenio entre la Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca (DANIDA) y la CEPAL, como parte del Proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica.”

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la CEPAL y de las instituciones socias del proyecto.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas de este documento no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

El término “dólares” se refiere a la moneda de los Estados Unidos de América.

---

LC/MEX/L.1016

Copyright © Naciones Unidas, julio de 2011. Todos los derechos reservados.

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Diseño de portada: José Luis Lugo.

El interior de este libro fue impreso en papel Pochteca Bond (30% reciclado). Impresión FOC S.A. de C.V.

---

# La economía del cambio climático en Centroamérica

## Reporte técnico 2011



## COMITÉ DIRECTOR DEL PROYECTO

**Ministros de Medio Ambiente:** Juana Argeñal, Ministra del Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente de Nicaragua (MARENA); Lucía Chandeck, Administradora General de la Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá (ANAM); Rigoberto Cuellar, Ministro de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras (SERNA); Teófilo De la Torre, Ministro del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica (MINAET); Luis Alberto Ferraté, Ministro del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN); Herman Rosa Chávez, Ministro del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN); Gaspar Vega, Ministro del Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Belice (MNREI). Autoridades anteriores: Javier Arias, Ligia Castro, Roberto Dobles, Carlos Guerrero, Jorge Rodríguez, Tomás Vaquero.

**Ministros de Finanzas/ Hacienda:** Dean O. Barrow, Ministro del Ministerio de Finanzas de Belice (MOF), Carlos E. Cáceres, Ministro del Ministerio de Hacienda de El Salvador (MH); William Chong Wong, Ministro de la Secretaría de Finanzas de Honduras (SEFIN); Alfredo Rolando del Cid, Ministro de Ministerio de Finanzas Públicas de Guatemala (MINFIN); Alberto José Guevara, Ministro del Ministerio de Hacienda y Crédito Público de Nicaragua (MHCP); Fernando Herrero, Ministro del Ministerio de Hacienda de Costa Rica (MH); Alberto Vallarino, Ministro del Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá (MEF). Autoridades anteriores: Edgar Alfredo Balsells, Juan Alberto Fuentes, Jenny Phillips, Rebeca Patricia Santos, Guillermo Zúñiga.

## COMITÉ TÉCNICO REGIONAL (CTR)

**Delegados de los Ministerios de Ambiente:** Gherda Barreto (MARENA); Antonio Cañas (MARN El Salvador); Mirza Castro (SERNA); Ana Rita Chacón (MINAET); Cynthia Deville (ANAM); Carlos Mansilla (MARN Guatemala); Marlon Westby (MNREI).

**Delegados de los Ministerios de Hacienda/ Finanzas:** Rogelio Alvarado (MEF); Rina Castellanos de Jarquín (MH El Salvador); Juan Manuel de la Cruz (MINFIN); Lourdes González (SEFIN); Fernando Rodríguez (MH Costa Rica).

**Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD-SICA):** Jorge Cabrera, Enlace Presidencia Protempore-CCAD; Raúl Artiga, delegado en el CTR.

**Secretaría de Integración Económica Centroamérica (SIECA):** Ernesto Torres, Secretario General; Juan Sebastián Blas, delegado en el CTR. Autoridad anterior: Yolanda Mayora de Gavidia.

**Delegados anteriores del CTR:** Guillermo Barquero, Cecilia Carranza, Edgar Chamorro, Paul Flowers, Ramón Frutos, Aristides Hernández, Leonel Lee, Darysbeth Martínez, José Francisco Rodríguez, Roberto Rodríguez, Bernardo Torres. **Colaboradores del CTR:** Luis

Alejandro Alejos, Roberto Araquistain, Beverly D. Castillo, Carlos Fuller, Carlos Gómez, René López, Leslie Marín, Roberto Motta, Carlos J. Pérez, Martha Ruiz, José Francisco Rodríguez, Bernardo Torres.

## UNIDAD COORDINADORA DEL PROYECTO (UCP) SEDE SUBREGIONAL DE LA CEPAL EN MÉXICO (CEPAL México)

Hugo E. Beteta, Director; Jorge Máttar, anterior Director a.i.; Julie Lennox, coordinadora del proyecto y punto focal para cambio climático de la CEPAL México; Horacio Catalán, consultor macroeconomista; Jaime Olivares y Allan Beltrán, asistentes de investigación; Almudena Fernández, consultora de programación; Hortensia Altamirano y Gabriela Santisteban, secretarías; Pedro Cote, oficial de comunicaciones; Susana Levy, oficial de publicaciones; Ramón Cota, editor; Coralie Dumoux y Romain Doleux, pasantes; Danny Laird, traductor; María Eugenia Urzúa, diagramadora. Se agradece el apoyo de los equipos de dirección, editorial y administración de la oficina.

**La División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL proporcionó asesoría, particularmente:** Joseluis Samaniego, Director; Luis Miguel Galindo, Jefe de la Unidad de cambio climático; Carlos de Miguel, Oficial de asuntos económicos; Graciela Magrin, Daniel Bouille, Gustavo Nagy, José Marengo y Lincoln Muñiz, miembros del Panel Internacional de Cambio Climático de los proyectos ECC.

## DFID/ GOBIERNO DEL REINO UNIDO

Tom Kennedy, Embajador del Reino Unido en Costa Rica y Nicaragua, enlace con el proyecto. Ian Hughes, Anterior Embajador del Reino Unido en Guatemala, Honduras y El Salvador. Lord Nicholas Stern, Chris Taylor y Dimitri Zenghelis del Equipo Stern; Josceline Wheatley y Su Lin Garbett-Shiels de DFID; Martin Johnston, Anterior Jefe de la Oficina de DFID para Centroamérica.

## DANIDA/ COOPERACIÓN PARA EL DESARROLLO DE DINAMARCA

Søren Vøhtz, Embajador, Embajada Real de Dinamarca en Nicaragua; Thomas Nielsen, Asesor Regional.

## EQUIPOS TÉCNICOS DEL PROYECTO

**Escenarios macroeconómicos y demográficos sin cambio climático:** Igor Paunovic, anterior Jefe de la Unidad de Desarrollo Económico (UDE) de la CEPAL en México y Luis Miguel Galindo, supervisores; Horacio Catalán, consultor principal, con la colaboración de Allan Beltrán, Luis Alberto Sánchez y Jaime Olivares; y Dirk Jaspers y Guiomar Bay de la División de Población de la CEPAL (CELADE). Agradecimiento a Manuel Iraheta, asesor de la Secretaría Técnica, Consejo Monetario Centroamericano.

**Escenarios climáticos:** Fernando Cuevas (OPD) y Hugo Ventura, Jefe de la Unidad de

Energía y Recursos Naturales de la CEPAL México, supervisores; Carlos Gay, Cecilia Conde, Francisco Estrada y Benjamín Hernández del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y Walter Fernández, consultores.

**Eventos extremos:** Ricardo Zapata, Asesor Regional en Desastres, y Myriam Urzúa, Punto focal de desastres de CEPAL México, supervisores; Elizabeth Mansilla y Horacio Catalán, consultores; Jaime Olivares, funcionario.

**Recursos hídricos:** Hugo Ventura, supervisor; Blanca Jiménez, consultora principal; María Inés Navarro, Manuel Basterrechea, Katherine Vammen y Marittin Valentin, consultores. Participaron con aportes Horacio Catalán y Pablo Imbach, consultores; Julie Lennox, Jaime Olivares y Jenny Alvarado, funcionarios; y Juan Pablo Vallejo.

**Sector agrícola:** Braulio Serna, Jefe de la Unidad de Desarrollo Agrícola de la CEPAL México, supervisor; José Mora y Diana Ramírez, funcionarios, Juan Luis Ordaz y Gerardo Esquivel, consultores.

**Cambio de uso de tierra y ecosistemas:** Julie Lennox, supervisora; Pablo Imbach, consultor principal; Karina Caballero, consultora; y Abigail Fallot, Luis Molina, Mario Chacón y Miguel Cifuentes, investigadores de CATIE.

**Turismo:** Claudia Schatan, Jefa; Mauricio Montiel e Indira Romero, funcionarios de la Unidad de Comercio Internacional e Industria (UCII), CEPAL México.

**Biodiversidad:** Julie Lennox, supervisora; Karina Caballero, consultora principal, con la colaboración de Erika Rojas. Asesoró Lenin Corrales de TNC Centroamérica.

**Energía:** Hugo Ventura, supervisor; Rosa Estela Félix, Fernando López, Carlos Roldán y Verónica Flores, consultores; Jennifer Alvarado, Eugenio Rojas y Ana María Larrauri, funcionarios.

**Valorización económica:** Luis Miguel Galindo y Julie Lennox, supervisores; Horacio Catalán, consultor principal; y Jaime Olivares.

**Opciones de políticas en adaptación y reducción de emisiones:** Julie Lennox, supervisora, Horacio Catalán, Gabriel Quadri y Eduardo Vega, consultores principales, Jaime Olivares, funcionario autor del análisis IPAT; con aportes de Anna Coates, Jefa anterior, Matthew Hammil y Lourdes Colinas de la Unidad de Desarrollo Social; Igor Paunovic, Ramón Padilla, Rocío Álvarez (consultora) de la Unidad de Desarrollo Económico; Claudia Schatan y Bruno Antunes de la UCII, Miriam Urzúa, Punto focal de Desastres de CEPAL México, y Juan Manuel de la Cruz del MINFIN de Guatemala.

**Asistentes de investigación en los países:** Helga María Rojas, René Gamero, José Fermín Villatoro, Oscar Francisco Delgado.

***In memoriam***

*De Fernando Cuevas, D. E. P.*

*Nicaragüense, ingeniero y economista,*

*funcionario del Instituto Nicaragüense de Energía (1976 – 1982),*

*Viceministro de Energía de Nicaragua (1987 – 1990),*

*Jefe de la Unidad de Energía y Recursos Naturales de la*

*Sede Subregional de la CEPAL en México (1993-2009),*

*Gerente del Proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica” (2008).*

*Incansable promotor de la eficiencia, equidad y sostenibilidad energética en Centroamérica.*



# ÍNDICE

Prólogo .....	1
Mensajes clave .....	3
Introducción .....	9
Capítulo 1 Escenarios climáticos.....	11
1.1 Introducción .....	11
1.2 Tendencias globales del clima.....	12
1.3 Tendencias regionales del clima y del nivel del mar .....	15
1.4 Estudios anteriores sobre escenarios climáticos futuros para Centroamérica .	21
1.5 Escenarios de cambio climático a 2100 para Centroamérica .....	26
1.6 Consideraciones finales .....	43
Anexo Bases de datos climáticos generados por el proyecto .....	45
Capítulo 2 Escenarios macroeconómicos y demográficos.....	47
2.1 Introducción .....	47
2.2 Evolución histórica y contexto actual .....	47
2.3 Los escenarios macroeconómicos a 2100 .....	50
2.4 Evolución demográfica histórica .....	57
2.5 Escenarios demográficos a 2100.....	60
2.6 Evolución del PIB per cápita .....	63
2.7 Consideraciones finales .....	65
Capítulo 3 Escenarios de cambio de uso de tierra.....	67
3.1 Introducción .....	67
3.2 Metodología.....	67
3.3 Escenario de cambio de uso de tierra para Centroamérica a 2100.....	73
3.4 Cambio en los sumideros de carbono .....	89
3.5 Consideraciones finales .....	92
Capítulo 4 Recursos hídricos .....	94
4.1 Introducción .....	94
4.2 Disponibilidad de agua y “estrés” hídrico actuales .....	94
4.3 Demanda de agua actual.....	98
4.4 Metodología.....	102
4.5 Escenario de disponibilidad total renovable de agua a 2100 .....	108
4.6 Escenarios de demanda de agua a 2100.....	116



4.7	Escenarios de la intensidad de uso del agua a 2100 .....	133
4.8	Estimado inicial de costos asociados al cambio climático .....	137
4.9	Consideraciones finales .....	141
Capítulo 5	Agricultura .....	143
5.1	Introducción .....	143
5.2	Metodología.....	144
5.3	Sensibilidad de Índices de producción agropecuaria a las variables climáticas .....	148
5.4	Sensibilidad de los rendimientos del maíz, frijol y arroz a las variables climáticas.....	153
5.5	Escenarios del impacto del cambio climático en la agricultura a 2100 .....	156
5.6	Estimado inicial de costos asociados al cambio climático .....	162
5.7	Consideraciones finales .....	165
Capítulo 6	Biodiversidad en Centroamérica y el impacto del cambio climático .....	167
6.1	Introducción .....	167
6.2	Impactos del cambio climático en la biodiversidad de la región.....	167
6.3	Índice de biodiversidad potencial (IBP) .....	171
6.4	Escenarios de biodiversidad a 2100 .....	173
6.5	Valoración directa de la biodiversidad.....	177
6.6	Valoración indirecta de la biodiversidad .....	179
6.7	Estimado inicial de costos asociados al cambio climático .....	180
6.8	Consideraciones finales .....	181
Anexo	Revisión bibliográfica de estudios de valoración económica de servicios ecosistémicos en la región .....	184
Capítulo 7	Eventos extremos.....	191
7.1	Introducción .....	191
7.2	Tendencias de eventos extremos climáticos .....	196
7.3	Impactos asociados a los eventos extremos climáticos .....	204
7.4	Estimado inicial de costos asociados al cambio climático .....	212
7.5	Consideraciones finales .....	218
Capítulo 8	Energía .....	220
8.1	Introducción .....	220
8.2	Balance de energía .....	222
8.3	Indicadores de consumo de energía.....	225
8.4	Escenario base sobre la demanda de energía 2008-2100 .....	229
8.5	Política energética.....	237
8.6	Consideraciones finales .....	240
Capítulo 9	Turismo .....	243
9.1	Introducción .....	243
9.2	Importancia de la actividad turística en Centroamérica.....	244



9.3	Escenarios de temperaturas en los sitios turísticos de Centroamérica a 2050..	245
9.4	Otros impactos del cambio climático sobre el turismo.....	247
9.5	Estructura institucional y reguladora .....	249
9.6	Consideraciones finales .....	252
Anexo	Proyecciones climáticas, 2020 y 2050 .....	254
Capítulo 10	Valorización económica del impacto del cambio climático .....	256
10.1	Introducción .....	256
10.2	Estudios a nivel internacional.....	257
10.3	Metodología.....	264
10.4	Estimado inicial del costo del cambio climático.....	266
10.5	Consideraciones finales .....	280
Capítulo 11	Vulnerabilidad, pobreza y adaptación .....	282
11.1	Introducción .....	282
11.2	Factores claves para adaptación y reducción de vulnerabilidades.....	292
11.3	Proyectos de adaptación en Centroamérica.....	293
11.4	Opciones de políticas enfocadas a la adaptación.....	305
11.5	Consideraciones finales .....	316
Capítulo 12	Escenarios de emisiones y opciones de mitigación.....	317
12.1	Introducción .....	317
12.2	Inventarios de emisiones en Centroamérica .....	318
12.3	Escenarios prospectivos de emisiones al 2100 con el modelo IPAT .....	322
12.4	Oportunidades y costos de reducción de emisiones con escenario a 2030 .....	332
12.5	La transición a una economía global baja en carbono .....	344
12.6	Consideraciones finales .....	346
Anexo A	Emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) por sectores, medidos en CO <sub>2</sub> e a 100 años. ....	350
	Cuadro A-1: Belice: Emisiones de GEI en CO <sub>2</sub> e por sectores .....	350
	Cuadro A-2: Costa Rica: Emisiones GEI en CO <sub>2</sub> e por sectores .....	351
	Cuadro A-3: El Salvador: Emisiones GEI en CO <sub>2</sub> e por sectores.....	352
	Cuadro A-4: Guatemala: Emisiones GEI en CO <sub>2</sub> e por sectores.....	353
	Cuadro A-5: Honduras: Emisiones GEI en CO <sub>2</sub> e por sectores .....	354
	Cuadro A-6: Nicaragua: Emisiones GEI en CO <sub>2</sub> e por sectores.....	355
	Cuadro A-7: Panamá: Emisiones GEI en CO <sub>2</sub> e por sectores.....	356
Anexo B	Proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) por país .....	357
	Cuadro B-1: Costa Rica: Proyectos mecanismo de desarrollo limpio.....	357
	Cuadro B-2: El Salvador: Proyectos mecanismo de desarrollo limpio .....	357
	Cuadro B-3: Guatemala: Proyectos mecanismo de desarrollo limpio .....	358
	Cuadro B-4: Honduras: Proyectos mecanismo de desarrollo limpio .....	359
	Cuadro B-5: Nicaragua: Proyectos mecanismo de desarrollo limpio.....	360
	Cuadro B-6: Panamá: Proyectos mecanismo de desarrollo limpio .....	361
	Cuadro B-7: Centroamérica: Status de proyectos mecanismo de desarrollo limpio .....	361

	Cuadro B-8: Centroamérica: Tipos de proyectos mecanismo de desarrollo limpio.....	362
Capítulo 13	Ejes potenciales de opciones de políticas públicas .....	363
13.1	Resumen por país de políticas e institucionalidad.....	363
13.2	Políticas e institucionalidad .....	363
13.3	Opciones de política pública para la adaptación .....	373
Bibliografía	.....	395

## ÍNDICE DE CUADROS

1.1	Centroamérica: Variación en la precipitación promedio anual, 1950 a 2006 .....	20
1.2	Centroamérica: Cambios pronosticados en temperatura y el nivel del mar en escenarios A2 y B2, 2050 a 2100.....	24
1.3	Centroamérica: Cambios proyectados en temperatura y precipitación, 2020, 2050 y 2080.....	25
1.4	Puntaje y desempeño general de los modelos .....	29
1.5	Centroamérica: Cambio de temperatura media escenario B2, 1980-2000 a 2100.....	36
1.6	Centroamérica: Cambio de temperatura media escenario A2, 1980-2000 a 2100 .....	36
1.7	Centroamérica: Cambio de precipitación media anual escenario B2, 1980-2000 a 2100.....	40
1.8	Centroamérica: Cambio de precipitación media anual escenario A2, 1980-2000 a 2100 .....	40
1.9	Centroamérica: Cambio de temperatura media, escenario B2, promedio de los tres modelos, 1980-2000 a 2100 .....	41
1.10	Centroamérica: Cambio de temperatura media, escenario A2, promedio de los tres modelos, 1980-2000 a 2100 .....	41
1.11	Centroamérica: Cambio de precipitación media anual, escenario B2, promedio de los tres modelos, 1980-2000 a 2100 .....	43
1.12	Centroamérica: Cambio de precipitación media anual, escenario A2, promedio de los tres modelos, 1980-2000 a 2100 .....	43
2.1	Centroamérica: Tasas de crecimiento promedio del PIB, 1950 a 2009 .....	48
2.2	Centroamérica: Escenarios de la tasa de crecimiento del PIB, 2008 a 2100 .....	56
2.3	Centroamérica: Escenarios de crecimiento del PIB por sectores, 2008 a 2100.....	57
2.4	Centroamérica: Escenario demográfico, 2005 a 2100.....	62
2.5	Centroamérica: PIB per cápita, 2005 a 2100 .....	64
3.1	Centroamérica: Equivalencia entre los sistemas de clasificación de uso del suelo para los modelos utilizados.....	69
3.2.	Centroamérica: Factores explicativos de la localización del uso del suelo empleados en el estudio.....	70
3.3	Centroamérica: Escenario tendencial de cambio de uso de tierra al año 2100.....	73
3.4	Belice: Resultados del modelaje al año 2100.....	76
3.5	Costa Rica: Resultados del modelaje al año 2100.....	77
3.6	El Salvador: Resultados del modelaje al año 2100.....	79
3.7	Guatemala: Resultados del modelaje al año 2100.....	81
3.8	Honduras: Resultados del modelaje al año 2100 .....	83
3.9	Nicaragua: Resultados del modelaje al año 2100.....	86
3.10	Panamá: Resultados del modelaje al año 2100 .....	88
3.11	Centroamérica: Acervos totales de carbono bajo escenario tendencial, 2005 - 2100 .....	90
4.1	Centroamérica: Disponibilidad, extracción, intensidad de uso y uso de agua por sector .....	95
4.2	Indicador de la disponibilidad de agua y clasificación.....	96
4.3	Centroamérica: Coberturas y tarifas del servicio de agua municipal, 2008 .....	100
4.4	Centroamérica: Dotación de agua per capita por cada país, 2005.....	100
4.5	Centroamérica: Indicadores agropecuarios y de riego .....	101
4.6	Centroamérica: Valores de la disponibilidad total renovable del agua en función de las proyecciones de clima en el escenario B2.....	109

4.7	Centroamérica: Valores de la disponibilidad total renovable del agua en función de las proyecciones de clima en el escenario A2 .....	110
4.8	Centroamérica: Evolución de la disponibilidad total renovable de agua por escenarios base, B2 y A2, 2000-2004 a 2100, .....	111
4.9	Centroamérica: Reducción de la disponibilidad de agua per cápita, escenarios base, B2 y A2, 2005 a 2100 .....	114
4.10	Centroamérica: Evolución de la demanda de agua total, municipal, agrícola e industrial con escenario base, B2 y A2, 2000 a 2100.....	119
4.11	Centroamérica: Participación de la demanda total de agua por país para los escenarios base y con cambio climático (escenarios B2 y A2), 2000 a 2100. ....	119
4.12	Belice: Evolución de la demanda de agua total, municipal e industrial con escenario base, B2 y A2, 2000 a 2100 .....	121
4.13	Costa Rica: Evolución de la demanda de agua total, municipal, agrícola e industrial con escenario base, B2 y A2, 2000 a 2100.....	123
4.14	El Salvador: Evolución de la demanda de agua total, municipal, agrícola e industrial con escenario base, B2 y A2, 2000 a 2100.....	124
4.15	Guatemala: Evolución de la demanda de agua total, municipal, agrícola e industrial con escenario base, B2 y A2, 2000 a 2100.....	127
4.16	Honduras: Evolución de la demanda de agua total, municipal, agrícola e industrial con escenario base, B2 y A2, 2000 a 2100.....	128
4.17	Nicaragua: Evolución de la demanda de agua total, municipal, agrícola e industrial con escenario base, B2 y A2, 2000 a 2100.....	130
4.18	Panamá: Evolución de la demanda de agua total, municipal, agrícola e industrial con escenario base, B2 y A2, 2000 a 2100.....	132
4.19	Centroamérica: Evolución del índice de intensidad de uso del agua con escenarios base, B2 y A2, 2000 a 2100 .....	133
4.20	Centroamérica: Tarifas empleadas en el estudio .....	138
4.21	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario B2) en los recursos hídricos, 2008 a 2100 .....	139
4.22	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario A2) en los recursos hídricos, 2008 a 2100 .....	140
5.1	Estimación de los índices de producción.....	149
5.2	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario B2) en la producción de cereales, 2008 a 2100.....	162
5.3	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario A2) en la producción de cereales, 2008 a 2100 .....	162
5.4	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (solo cambio en la temperatura máxima) (escenario B2 en la producción pecuaria, 2008 a 2100) .....	163
5.5	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (solo cambio en la temperatura máxima) (escenario A2) en la producción pecuaria, 2008 a 2100 .....	163
5.6	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario B2) en la producción agrícola, 2008 a 2100 .....	163
5.7	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario A2) en la producción agrícola, 2008 a 2100 .....	163
5.8	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario B2) en el sector agropecuario, 2008 a 2100 .....	164
5.9	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario A2) en el sector agropecuario, 2008 a 2100.....	164
6.1	Impactos negativos del cambio climático en los ecosistemas globales .....	168
6.2	Centroamérica: Revisión de literatura de impactos esperados del cambio climático en la biodiversidad.....	169
6.3	Centroamérica: Evolución del Índice de Biodiversidad Potencial bajo el escenario base (sin cambio climático), 2005 a 2100 .....	174

6.4	Centroamérica: Evolución del Índice de Biodiversidad Potencial con cambio climático (escenarios B2 y A2), 2005 a 2100 .....	176
6.5	Centroamérica: Estimado de valores directos registrados de los servicios de la biodiversidad .....	178
6.6	Centroamérica: Modelo del Producto Interno Bruto Agrícola Regional, 2006 .....	179
6.7	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenarios B2 y A2) en la biodiversidad, 2008 a 2100, con costos directos e indirectos .....	180
6.8	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenarios B2 y A2) en la biodiversidad con años corte, 2008 a 2100 .....	181
7.1	Centroamérica: Pérdidas económicas causadas por los principales desastres ocurridos .....	206
7.2	Centroamérica: Índice de riesgo de mortalidad por diferentes causas.....	211
7.3	Centroamérica: Estimaciones de la función de producción con efecto de los eventos extremos (huracanes e inundaciones) .....	215
7.4	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado ante un aumento de 5% en la intensidad de las tormentas y los huracanes, 2008 a 2100.....	217
7.5	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado ante un aumento del 10% en la intensidad de las tormentas y los huracanes, 2008 a 2100 .....	217
8.1	Centroamérica: Consumo final energético 2008 .....	223
8.2	Centroamérica: Tasas de crecimiento de la demanda de energía, escenario base 2010 a 2100 .....	233
8.3	Centroamérica: Demanda total de energía, participación por países, sectores, combustibles fósiles y fuentes renovables .....	233
8.4	Centroamérica: Evolución de demanda de electricidad con escenario base, 2007 a 2100.....	235
8.5	Centroamérica: Demanda de energía eléctrica por sector, escenario base en 2100.....	236
8.6	Centroamérica: Generación de energía eléctrica con escenario base en 2100, por fuentes .....	236
10.1	Estados Unidos: Impacto estimado del cambio climático .....	258
10.2	Países seleccionados y mundo: Costos totales debidos a un incremento doble de las emisiones de CO <sub>2</sub> .....	258
10.3	Mundo: Concentraciones de GEI y temperatura media al final del siglo XXI respecto a los niveles previos a la revolución industrial.....	260
10.4	Regiones del Mundo: Impactos del cambio climático.....	261
10.5	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario B2) en el sector agrícola a 2100 .....	267
10.6	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario A2) en el sector agrícola a 2100.....	267
10.7	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario B2) en el sector agropecuario a 2100 .....	268
10.8	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario A2) en el sector agropecuario a 2100 .....	268
10.9	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario B2) en los recursos hídricos a 2100.....	269
10.10	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario A2) en los recursos hídricos a 2100 .....	270
10.11	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenarios B2 y A2) en la biodiversidad en 2100, con costos directos e indirectos .....	271
10.12	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenarios B2 y A2) en la biodiversidad con años corte hasta 2100.....	272
10.13	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado ante un aumento de 5% en la intensidad de las tormentas y los huracanes a 2100.....	273
10.14	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado ante un aumento de 10% en la intensidad de las tormentas y los huracanes a 2100.....	274
10.15	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario B2) en cuatro ámbitos a 2100.....	275
10.16	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario A2) en cuatro ámbitos a 2100 .....	276

10.17	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario B2) en cuatro ámbitos por país a 2100.....	277
10.18	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del impacto del cambio climático (escenario A2) en cuatro ámbitos por país a 2100.....	278
10.19	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado del cambio climático en cuatro ámbitos sin medidas de respuesta por país a diversos años.....	279
10.20	Centroamérica: Estimado inicial del costo anual del cambio climático en cuatro ámbitos sin medidas de respuesta por país en diversos períodos.....	279
11.1	Centroamérica: Cobertura de la seguridad social, alrededor del 2006.....	291
11.2.	Centroamérica: Algunos proyectos regionales, binacionales y nacionales para reducir la vulnerabilidad y/o promover la adaptación al cambio climático.....	294
12.1	Centroamérica: Emisiones netas de GEI reportadas en inventarios nacionales.....	319
12.2	Centroamérica: Emisiones de GEI reportadas en inventarios nacionales, 2000.....	319
12.3	Centroamérica: Supuestos del escenario base, 2008 a 2100.....	328
12.4	Centroamérica: Proyección de las tasas de crecimiento anual de las emisiones de CO <sub>2</sub> e (sin cambio de uso de tierra) a 2100.....	329
12.5	Centroamérica: Escenario tendencial de emisiones de CO <sub>2</sub> e (sin cambio de uso de tierra) a 2100.....	330
12.6	Centroamérica: Escenario tendencial de CO <sub>2</sub> e per capita (sin cambio de uso de tierra) a 2100....	330
12.7	Centroamérica: Tasa de crecimiento anual de la intensidad carbónica (CO <sub>2</sub> e /energía) entre 2006 y 2100 requerida para mantener constantes las emisiones de GEI al nivel de 2000.....	331
12.8	Centroamérica: Estimado inicial del costo acumulado entre 2006 al 2100 de mantener constantes las emisiones de GEI al nivel de 2000.....	331
12.9	Centroamérica: Generación de electricidad por fuente, 1985 - 2100.....	333
12.10	Centroamérica: Consumo final de electricidad, 2007.....	333
12.11	Centroamérica: Estimado de emisiones de GEI indirectas por consumo de electricidad, 2007....	334
12.12	Centroamérica: Inventario de emisiones ajustado con electricidad, 2000.....	335
12.13	Centroamérica: Estimado de emisiones de GEI, 2030.....	337
13.1	Centroamérica: Sistemas nacionales de áreas protegidas 2003.....	385

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

1.1	Impactos asociados con el cambio anual medio mundial de la temperatura.....	42
2.1	Técnicas utilizadas en la construcción de escenarios macroeconómicos.....	50
2.2	Construcción de los escenarios demográficos.....	61
3.1	Esquema metodológico de modelaje de uso de tierra mediante el modelo CLUE-S.....	68
5.1	Metodología de función de producción aplicada al cambio climático.....	145
10.1	Método de estimación de los costos del cambio climático.....	264
12.1	Escenarios de mitigación con base en el modelo IPAT.....	323
12.2	Propuesta de curva de transición forestal.....	342
13.1	Costa Rica: Estrategia nacional de cambio climático.....	364

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

1.1	Mundo: Evidencia del cambio climático, año 0 a 2005.....	13
1.2	Regiones del mundo: Anomalía de precipitación, 1901 a 2005.....	14
1.3	Centroamérica: Temperatura media anual y su filtro Hodrick-Prescott, 1950 a 2006.....	17
1.4	Centroamérica: Precipitación acumulada anual y su filtro Hodrick-Prescott, 1950 a 2006.....	19
1.5	Mesoamérica: Variaciones de la temperatura en el período 2001 a 2100 relativo a 1901-2005.....	25
1.6	Mundo: Escenarios de emisiones de GEI y proyecciones de temperatura asociadas, 2000-2100..	27
1.7	Centroamérica: Proyecciones climáticas.....	28
1.8	Centroamérica: Temperatura media anual, escenario B2, 1960 a 2100.....	33
1.9	Centroamérica: Temperatura media anual, escenario A2, 1960 a 2100.....	34
1.10	Centroamérica: Precipitación acumulada anual, escenario B2, 1960 a 2100.....	38
1.11	Centroamérica: Precipitación acumulada anual, escenario A2, 1960 a 2100.....	39
2.1	Centroamérica: Trayectorias y tasas de crecimiento del PIB, 1970 a 2009.....	49



2.2	Centroamérica: Filtro Hodrick-Prescott de las tasas de crecimiento del PIB, 1970 a 2007 .....	52
2.3	Centroamérica: Modelos de series de tiempo con valores observados (1970 a 2007) y pronóstico (2008 a 2100) de la tasa de crecimiento del PIB .....	53
2.4	Centroamérica: Escenarios de crecimiento del PIB con valores observados (1970 a 2007) y pronóstico (2008 a 2100) .....	55
2.5	Centroamérica: Tasas de crecimiento de la población de Centroamérica por décadas, 1960 a 2009 .....	58
2.6	Centroamérica: Características demográficas .....	59
2.7	Centroamérica: Escenario demográfico, 2005 a 2100 .....	62
2.8	Centroamérica y países desarrollados: PIB per cápita, 1970 a 2009 .....	63
2.9	Centroamérica: Evolución del PIB per cápita con escenario macroeconómico base, 1970 a 2100 .....	64
3.1	Centroamérica y el Caribe: Distribución del uso de la tierra escenario tendencial derivado de los tres escenarios GEO4, 2000 a 2050 .....	69
3.2	Belize: Evolución de las demandas impuestas al modelo bajo escenario base (tendencial), 2005 a 2100 .....	75
3.3	Costa Rica: Evolución de las demandas impuestas al modelo bajo escenario base (tendencial), 2005 A 2100 .....	77
3.4	El Salvador: Evolución de las demandas impuestas al modelo bajo escenario base (tendencial), 2005 a 2100 .....	79
3.5	Guatemala: Evolución de las demandas impuestas al modelo bajo escenario base (tendencial), 2005 a 2100 .....	81
3.6	Honduras: Evolución de las demandas impuestas al modelo bajo escenario base (tendencial), 2005 – 2100 .....	83
3.7	Nicaragua: Evolución de las demandas impuestas al modelo bajo escenario base (tendencial), 2005 a 2100 .....	85
3.8	Panamá: Evolución de las demandas impuestas al modelo bajo escenario base (tendencial), 2005 – 2100 .....	88
3.9	Centroamérica: Variación del contenido de carbono en sumideros bajo escenario tendencial, 2006 – 2100 .....	91
3.10	Centroamérica: Disminución en acervos de carbono bajo escenario tendencial, 2006 y 2100 .....	91
4.1	Centroamérica: Extensión de las cuencas internacionales .....	97
4.2	Centroamérica y otros tres países: Productividad industrial del agua .....	101
4.3	Centroamérica: Evolución de la disponibilidad total renovable de agua, por escenarios base, B2 y A2, 2000-2004 A 2100 .....	112
4.4	Centroamérica: Disponibilidad per cápita de agua en 2005 y con Escenarios base, B2 y A2 en 2100 .....	116
4.5	Centroamérica: Evolución de la demanda de agua con escenarios base, B2 y A2, 2000-2100 .....	118
4.6	Belize: Evolución de la demanda de agua con escenarios base, B2 y A2, 2000-2100 .....	120
4.7	Costa Rica: Evolución de la demanda de agua con escenarios base, B2 y A2, 2000-2100 .....	122
4.8	El Salvador: Evolución de la demanda de agua con escenarios base, B2 y A2, 2000-2100 .....	124
4.9	Guatemala: Evolución de la demanda de agua con escenarios base, B2 y A2, 2000-2100 .....	126
4.10	Honduras: Evolución de la demanda de agua con escenarios base, B2 y A2, 2000-2100 .....	128
4.11	Nicaragua: Evolución de la demanda de agua con escenarios base, B2 y A2, 2000-2100 .....	129
4.12	Panamá: Evolución de la demanda de agua con escenarios base, B2 y A2, 2000-2100 .....	131
4.13	Centroamérica: Evolución del índice de intensidad de uso del agua con escenarios base y B2, 2000-2100 .....	134
4.14	Centroamérica: Evolución del índice de intensidad de uso del agua con escenarios base y a2, 2000 a 2100 .....	136
5.1	Centroamérica: Índice de producción agropecuaria ante variaciones de temperatura .....	150
5.2	Centroamérica: Índice de producción agropecuaria ante variaciones de precipitación .....	150
5.3	Centroamérica: Índice de producción agrícola (cultivos) ante variaciones de temperatura .....	150
5.4	Centroamérica: Índice de producción agrícola (cultivos) ante variaciones de precipitación .....	150
5.5	Centroamérica: Índice de producción de cereales ante variaciones de temperatura .....	150
5.6	Centroamérica: Índice de producción de cereales ante variaciones de precipitación .....	150
5.7	Centroamérica: Índice de producción pecuaria ante variaciones de temperatura .....	151

5.8	Centroamérica: Impacto de cambios en precipitación y temperatura en la producción agropecuaria .....	151
5.9	Centroamérica: Impacto de cambios en precipitación y temperatura en la producción agrícola .....	152
5.10	Centroamérica: Impacto de cambios en precipitación y temperatura en la producción de cereales .....	152
5.11	Centroamérica: Variación de los rendimientos de maíz ante variaciones de temperatura .....	153
5.12	Centroamérica: Variación de los rendimientos de maíz ante variaciones de precipitación .....	154
5.13	Centroamérica: Variación del rendimiento del frijol ante variaciones de temperatura .....	154
5.14	Centroamérica: Variación del rendimiento del frijol ante variaciones de precipitación .....	155
5.15	Centroamérica: Variación del rendimiento del arroz ante variaciones de temperatura .....	155
5.16	Centroamérica: Variación del rendimiento del arroz ante variaciones de precipitación .....	156
5.17	Centroamérica: La evolución del índice agropecuario con escenarios B2 y A2 (con filtro Hodrick-Prescott), 2006-2100 .....	157
5.18	Centroamérica: La evolución del índice agrícola con escenarios B2 y A2 (con filtro Hodrick-Prescott), 2006-2100 .....	157
5.19	Centroamérica: La evolución del índice de cereales con escenarios B2 y A2 (con filtro Hodrick-Prescott), 2006-2100 .....	158
5.20	Centroamérica: Evolución del índice pecuario con cambios de la temperatura máxima escenarios B2 Y A2 (Con filtro Hodrick-Prescott), 2006-2100 .....	158
5.21	Centroamérica: Evolución de los rendimientos de maíz con cambio climático (escenarios B2 y A2), del 2006 al 2100 .....	159
5.22	Centroamérica: Evolución de los rendimientos de frijol con cambio climático (escenarios B2 y A2), del 2006 al 2100 .....	160
5.23	Centroamérica: Evolución de los rendimientos de arroz con cambio climático (escenarios B2 y A2), del 2006 al 2100 .....	161
6.1	Centroamérica: Evolución del Índice de Biodiversidad Potencial bajo el escenario base (sin cambio climático), 2005 – 2100 .....	174
6.2	Centroamérica: Evolución del Índice de Biodiversidad Potencial con cambio climático (escenarios B2 y A2), 2005 a 2100 .....	176
6.3	Centroamérica: Evolución del Índice de Biodiversidad Potencial, escenarios base y con cambio climático (B2 y A2), 2005 a 2100 .....	177
7.1	Continentes: Número de desastres reportados, 1900-2008 .....	192
7.2	Océano Atlántico Norte: Número de huracanes, tormentas tropicales y subtropicales, 1878-2006 .....	192
7.3	Océano Atlántico: Número de tormentas según duración (moderada y corta), 1878-2006 .....	193
7.4	Océano Pacífico: Intensidad de ciclones y temperatura de la superficie del mar .....	194
7.5	Centroamérica: Distribución de los eventos extremos climáticos, 1931 a 2009 .....	196
7.6	Centroamérica: Evolución temporal de los eventos extremos registrados, 1930 a 2009 .....	197
7.7	Centroamérica: Número de inundaciones registradas en dos períodos, 1970-1989 y 1990-2009 .....	197
7.8	Centroamérica: Número de tormentas tropicales y huracanes registrados en dos períodos, 1970-1989 y 1990-2009 .....	198
7.9	Centroamérica: Evolución de número de personas afectadas por inundaciones, 1970-2009 .....	204
7.10	Centroamérica: Evolución de número de personas afectadas por tormentas y huracanes, 1970 a 2009 .....	205
7.11	Centroamérica: Costos económicos de 11 eventos hidrometeorológicos .....	207
8.1	Centroamérica: Oferta–demanda total de energía (1970–2007) .....	220
8.2	Centroamérica: Energía primaria 2008 .....	222
8.3	Centroamérica: Evolución del consumo final y demanda por sector de hidrocarburos .....	224
8.4	Centroamérica: Generación de energía eléctrica por tipo de fuente, 2008 .....	225
8.5	Centroamérica: Indicadores de consumo de energía per cápita, 2008 .....	226
8.6	Centroamérica: Evolución de demanda de hidrocarburos con escenario base, 1970–2100 .....	234



8.7	Centroamérica: Evolución de demanda de electricidad con escenario base, 1970 a 2100 .....	235
8.8	Centroamérica: Generación de energía eléctrica, por tipo de tecnología con escenario base en 2100 .....	237
10.1	Mundo: Estimación de los impactos a nivel global del cambio climático .....	259
10.2	Mundo: Costos pronosticados del cambio climático al año 2200 .....	263
11.1	Centroamérica: Niveles de pobreza, 1990 a 2008 .....	285
11.2	Centroamérica: Pobreza, PIB per cápita y tamaño de población, 2006 .....	285
11.3	Centroamérica: Indicador de desigualdad, 1990 a 2008 .....	286
11.4	Centroamérica y República Dominicana: Gasto social per cápita, 1990 A 2007 .....	286
11.5	Centroamérica: Gasto total en educación, 2008 .....	287
11.6	Centroamérica: Gasto en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB .....	313
12.1	Centroamérica: Emisiones de GEI por sector sin emisiones de cambio de uso de tierra, 2000 .....	320
12.2	Centroamérica: Emisiones brutas de GEI por sector con cambio de uso de tierra, 2000 .....	320
12.3	Centroamérica: Emisiones brutas de GEI por país con cambio de uso de tierra, 2000 .....	320
12.4	Centroamérica: Emisiones netas de GEI por sector, 2000 .....	321
12.5	Centroamérica: Emisiones netas de GEI por país, 2000 .....	321
12.6	Centroamérica: Emisiones de GEI por sector, brutas y netas, 2000 .....	322
12.7	Centroamérica: Intensidad energía/PIB, 2000 .....	326
12.8	Centroamérica: Intensidad CO <sub>2</sub> e (sin cambio de uso de tierra)/ energía, 2000 .....	326
12.9	Centroamérica: Intensidad CO <sub>2</sub> e (sin cambio de uso de tierra)/PIB, 2000 .....	327
12.10	Centroamérica: Intensidad de CO <sub>2</sub> e per cápita (sin cambio de uso de tierra), 2000 .....	327
12.11	Centroamérica: Estructura porcentual de las emisiones de GEI por sector sin deforestación, 2000 .....	335
12.12	Centroamérica: Estructura porcentual de las emisiones de GEI por país sin deforestación, 2000 .....	335
12.13	Centroamérica: Estructura sectorial de las emisiones de GEI estimadas sin cambio de uso de tierra, 2030 .....	337
12.14	Centroamérica: Estructura por país de las emisiones de GEI estimadas sin cambio de uso de tierra, 2030 .....	337
12.15	Centroamérica: Estructura sectorial de las emisiones de GEI estimadas con cambio de uso de tierra, 2000 y 2030 .....	338
12.16	Centroamérica: Modelaje inicial de una curva de costos marginales de reducción de emisiones GEI, 2030 .....	339

## ÍNDICE DE MAPAS

1.1	Centroamérica: Temperatura media, meses de enero, abril, julio y octubre, 1950 a 2000 .....	16
1.2	Centroamérica: Precipitación, meses de enero, abril, julio y octubre, 1950 a 2006 .....	18
1.3	Mesoamérica: Escenarios de temperatura, 2050 y 2080 .....	21
1.4	Mesoamérica: Escenarios para precipitación 2050 y 2080 .....	22
3.1	Centroamérica: Escenario de cambio en uso de la tierra, 2005 (base) y 2100 (tendencial) .....	74
3.2	Belice: Escenario de cambio en uso de la tierra, 2005 (base) y 2100 (tendencial) .....	76
3.3	Costa Rica: Escenario de cambio en uso de la tierra, 2005 (base) y 2100 (tendencial) .....	78
3.4	El Salvador: Escenario de cambio en uso de la tierra, 2005 (base) y 2100 (tendencial) .....	80
3.5	Guatemala: Escenario de cambio en uso de la tierra, 2005 (base) y 2100 (tendencial) .....	82
3.6	Honduras: Escenario de cambio en uso de la tierra, 2005 (base) y 2100 (tendencial) .....	84
3.7	Nicaragua: Escenario de cambio en uso de la tierra, 2005 (base) y 2100 (tendencial) .....	86
3.8	Panamá: Escenario de cambio en uso de la tierra, 2005 (base) y 2100 (tendencial) .....	89
4.1	Centroamérica: Red hídrica .....	95
4.2	Centroamérica: Cuencas hidrográficas .....	97
4.3	Centroamérica: Densidad de población .....	99
4.4	Centroamérica: Disponibilidad per cápita del agua para el escenario base y A2 referidos al índice de estrés hídrico, en 2050 y 2100 .....	115
6.1	Centroamérica: Índice de Biodiversidad Potencial, 2005 .....	173

6.2	Centroamérica: Evolución del Índice de Biodiversidad Potencial, 2005, escenarios base y con cambio climático (B2 y A2) en 2100 .....	175
7.1	Centroamérica: Ubicación espacial de riesgos de los huracanes, 1977-2006 .....	199
7.2	Centroamérica: Ubicación espacial de riesgos por deslizamientos .....	200
7.3	Centroamérica: Ubicación espacial de sequías, 1974-2004.....	201
7.4	Centroamérica: Ubicación espacial de incendios forestales, 1997 a 2008.....	202
7.5	Centroamérica: Riesgos para la población ante eventos extremos .....	210
9.1	Centroamérica: Ubicación de centros turísticos seleccionados .....	246

## ÍNDICE DE RECUADROS

4.1	Supuestos para estimar el impacto del cambio climático en la demanda de agua municipal.....	106
5.1	Impactos de la temperatura en los rendimientos de granos básicos a nivel global .....	146
7.1	Esfuerzo reciente de estimar cambios en intensidad y frecuencia de huracanes .....	194
7.2	El Niño-Oscilación sur (ENOS) .....	203
7.3	La Niña .....	203
7.4	Nicaragua: Impacto del Huracán Félix en la Región Autónoma del Atlántico Norte (2007).....	208
7.5	El Salvador: Impacto por la baja presión asociada a la tormenta tropical Ida, 2009 .....	209
7.6	Intensidad de huracanes y tormentas y su impacto en costos .....	214
8.1	Aspectos sobre emisiones vehiculares.....	228
8.2	Estrategia energética sustentable de Centroamérica 2020 .....	238
10.1	El valor presente neto y la tasa de descuento .....	265
11. 1	Conceptos de vulnerabilidad, adaptación, sensibilidad y resiliencia. ....	283
11.2	Guatemala: Efectos del clima, su variabilidad y cambio climático sobre la salud humana.....	287
11. 3	Costa Rica: Efectos del clima, su variabilidad y cambio climático sobre la salud humana.....	289
12.1	Fuentes de información de Centroamérica.....	324
12.2	Comercio y cambio climático: Perspectivas para Centroamérica.....	345



## PRÓLOGO

La evidencia científica muestra que el calentamiento global asociado al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de actividades antropogénicas está ocasionando cambios climáticos discernibles, como alza de la temperatura, modificación de los patrones de precipitación, reducción de los glaciares, elevación del nivel de mar y aumento de eventos extremos. Estos cambios representan una seria amenaza para las sociedades centroamericanas por sus múltiples impactos previstos en la producción, la infraestructura, los medios de vida, la salud, la seguridad y el debilitamiento de la capacidad del ambiente para proveer recursos y servicios vitales.

Aunque se estima que Centroamérica seguirá produciendo una mínima parte de las emisiones de GEI del planeta, ya es una de las regiones más vulnerables a sus consecuencias negativas. Las vulnerabilidades socioeconómicas históricas de Centroamérica se exacerban por su ubicación geoclimática en un istmo estrecho que sirve de puente entre dos continentes, situado entre dos sistemas oceánicos, el Pacífico y el Atlántico. La región es gravemente afectada por sequías, ciclones y el fenómeno El Niño-Oscilación Sur. El cambio climático está magnificando y ampliando estas vulnerabilidades sociales, económicas y ambientales e incidirá cada vez más en la evolución económica de la región, dado que los factores dependientes del clima son aportes significativos a las actividades económicas, como la agricultura. En términos fiscales constituye un pasivo público contingente que afectará las finanzas públicas por generaciones.

Por otro lado, la región contiene valiosos acervos que requieren ser preservados y valorados por su contribución al desarrollo de las generaciones actuales y futuras, como sus ecosistemas y su biodiversidad abundante, que son proveedores de múltiples servicios. Estos ecosistemas se deterioran actualmente por el patrón de desarrollo insostenible y serán más afectados aún por el cambio climático. La población de la región, relativamente joven y con su diversidad cultural, étnica, lingüística y de estilos de vida, es un tesoro que requiere mayor reconocimiento e inversión para revalorar y desarrollar sus capacidades de respuesta.

Los Presidentes del Sistema de Integración Centroamericana (SICA), en su Cumbre sobre el Cambio Climático realizada en mayo de 2008, establecieron mandatos a las instituciones nacionales y regionales para dar respuesta a este fenómeno, los cuales fueron reiterados en su Cumbre de junio de 2010. En el marco de esta iniciativa, se ejecuta el proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica”, el cual se lleva a cabo conjuntamente entre la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL), los Ministros de Ambiente y Hacienda/Finanzas de los siete países de Centroamérica, la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) del Sistema de Integración de Centroamérica (SICA) y la Secretaría de Integración Económica de Centroamérica (SIECA). Cuenta con el apoyo financiero del Ministerio para el Desarrollo Internacional (DFID) del Gobierno británico, y más recientemente de la Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca (DANIDA). Su finalidad es alertar a los actores clave en la toma de decisiones de la región sobre la urgencia de enfrentar el reto de cambio climático y propiciar un diálogo sobre opciones de políticas públicas y acciones nacionales y regionales, incluyendo la Estrategia Regional de Cambio Climático.

Para ello se analizan los impactos del cambio climático en diversos escenarios de emisiones y se estima su valor económico. Se exploran los costos de la inacción y los beneficios de potenciales respuestas, de acciones para la reducción de vulnerabilidad, la adaptación y una transición hacia una economía sostenible y baja en carbono.

Los resultados a la fecha sugieren que los impactos del cambio climático en Centroamérica en un escenario tendencial de altas emisiones (tipo A2) con uso intensivo de combustibles fósiles son significativos y crecientes, reconociendo las incertidumbres inherentes en este tipo de análisis. Se confirmaría la asimetría de que los países que menos han contribuido al problema sufren mayores impactos y tienen menos resiliencia. Se confirmaría también el planteamiento de que los costos de los impactos en este escenario de inacción global, particularmente de los grandes países emisores, serían más elevados que los de un escenario de emisiones más reducidas (tipo B2) y con un acuerdo internacional con responsabilidades compartidas pero diferenciadas, y que facilite a los países más vulnerables, como los centroamericanos, implementar medidas de adaptación y mitigación en un marco de desarrollo sostenible e incluyente. El reto de adaptación es altamente preocupante porque exige redoblar esfuerzos para reducir la pobreza, la desigualdad y la vulnerabilidad socioeconómica y ambiental, y aumentar la capacidad adaptativa de las sociedades y ecosistemas conexos.

Los resultados confirman que el cambio climático es la mayor falla del mercado jamás vista por no internalizar el valor del clima como bien público global y por no registrar adecuadamente los impactos sociales y los servicios ambientales. Esto implica que, además de una valorización económica de estas externalidades, se requiere tomar decisiones éticas respecto al valor que asignamos a las necesidades de futuras generaciones y a los ecosistemas que nos prestan múltiples servicios ambientales, los cuales perderemos antes de que el mercado nos dé las señales requeridas para su adecuado manejo. Debido a que es una falla de mercado, el cambio climático no puede ser tratado como responsabilidad exclusiva de las instituciones ambientales, sino también como un problema social y económico central y transversal con serias implicaciones fiscales. Desde la óptica económica es más rentable actuar ahora que dejar el problema a las generaciones futuras.

El cambio climático presenta una serie de desafíos que tienen que enfrentarse a través del aporte de diversos actores, incluyendo el sector público, el sector privado, la ciudadanía y sus organizaciones civiles, el sector académico, las instituciones de integración y la comunidad internacional. Para estos efectos, el fortalecimiento de capacidades nacionales y regionales ha sido identificado como prioridad por los socios del proyecto. El presente Reporte técnico tiene la finalidad de contribuir a las actividades de capacitación y discusión técnica requeridas. Las instituciones socias del proyecto reiteran su compromiso de seguir profundizando este trabajo conjunto para desarrollar el conocimiento y las capacidades necesarias para que todos los actores puedan tomar decisiones más informadas para reducir vulnerabilidades, mejorar la adaptación al cambio climático y encaminar las economías a sendas sostenibles y bajas en carbono.

**Alicia Bárcena**

Secretaria Ejecutiva

Comisión Económica para América Latina  
y el Caribe (CEPAL)

**Luis Alberto Ferraté**

Ministro

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de  
Guatemala y Presidente Pro Témpore de la  
Comisión Centroamericana de Ambiente y  
Desarrollo (CCAD)

## MENSAJES CLAVE

El cuarto reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático encuentra que las concentraciones GEI y los aerosoles han aumentado considerablemente por efecto de las actividades humanas desde el año 1750. El aumento de las concentraciones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se debe principalmente al uso de combustibles de origen fósil, con una aportación menor aunque perceptible de los cambios de uso de la tierra. Es probable que el incremento de la concentración de metano ( $\text{CH}_4$ ) se deba predominantemente a la agricultura y al uso de combustibles de origen fósil. El alza de la concentración de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se debe principalmente a las actividades agrícolas. La evidencia científica muestra que el calentamiento global asociado al aumento de emisiones de GEI provenientes de actividades antropogénicas está ocasionando cambios climáticos discernibles, como aumento de la temperatura, modificación de los patrones de precipitación, reducción de la criósfera, elevación del nivel de mar y modificación de los patrones de eventos climáticos extremos. Existe 90% de seguridad de que el calentamiento global del siglo XX se debe al incremento de las concentraciones de estos GEI de origen antropogénicas (IPCC, 2007a).

Las vulnerabilidades socioeconómicas de Centroamérica se exacerban por su ubicación geoclimática en un istmo estrecho que sirve de puente entre dos continentes, situado entre dos sistemas oceánicos, el Pacífico y el Atlántico, con sus correspondientes procesos climáticos. La región es gravemente afectada por sequías, ciclones y el fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS). En las últimas tres décadas, la precipitación pluvial muestra una tendencia a disminuir, sobre todo en la región oeste del istmo, y se registra un aumento de la temperatura entre  $0,7^\circ\text{C}$  y  $1^\circ\text{C}$ . Dado que los factores dependientes del clima son aportes significativos a las actividades económicas, como la agricultura, los cambios climáticos incidirán cada vez más en la evolución económica de la región durante el presente siglo.

Por otro lado, la región contiene valiosos acervos a ser preservados por su contribución al desarrollo de las generaciones actuales y futuras, como sus ecosistemas de biodiversidad abundante, bosques, corales y manglares, entre otros, proveedores de múltiples servicios a la población. Estos ecosistemas menguan y algunos ya están severamente degradados por el actual patrón de desarrollo insostenible, y serán más afectados aún por el cambio climático. La población joven y la diversidad cultural, étnica, lingüística y de estilos de vida de la región son tesoros que requieren inversión para desarrollar sus capacidades. Los conocimientos locales y de los pueblos indígenas deben ser valorizados.

La evaluación del impacto económico del cambio climático es objeto de intenso debate, cuyo desarrollo utiliza diversos métodos y técnicas (Nordhaus y Boyer, 2000 y Stern, 2007). Cada método supone ventajas y sesgos, y no es posible elegir uno superior en todos sus aspectos. El objetivo del proyecto “La Economía del Cambio Climático en Centroamérica” es realizar una evaluación económica del impacto del cambio climático en Centroamérica con diferentes escenarios de desarrollo y trayectorias de emisiones, frente a los costos y beneficios de potenciales respuestas de inacción (*business as usual*) y de opciones de políticas públicas de adaptación y mitigación para

prevenir, reducir o minimizar los impactos negativos. El proyecto es realizado por la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), los Ministerios de Ambiente y Hacienda/Finanzas de los siete países de Centroamérica, la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) del Sistema de Integración de Centroamérica (SICA) y la Secretaría de Integración Económica de Centroamérica (SIECA), con financiamiento del Gobierno Británico (DFID) y más recientemente de la Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca (DANIDA).

La metodología del estudio parte de la definición de una trayectoria tendencial o base de las actividades económicas, sin incluir los impactos del cambio climático (*business as usual*), proyectando trayectorias de crecimiento sectoriales y de la economía en conjunto, y de otros factores claves como son la población, el cambio de uso de tierra, y el consumo de agua y de energía. A continuación se evalúan los impactos en ámbitos clave como rendimientos agrícolas y disponibilidad y demanda del agua, cuyos costos son estimados para establecer trayectorias afectadas por el cambio climático. Las diferencias entre ambas trayectorias, actualizadas en función de la tasa de descuento elegida, representan las consecuencias económicas del cambio climático. Se asume que los procesos de adaptación modificarán significativamente el resultado final y que algunos de los impactos más relevantes no tienen un valor económico directo.

Los escenarios climáticos del proyecto estiman cambios de temperatura y precipitación, usando escenarios y modelos climáticos recomendados por el IPCC.<sup>1</sup> En un escenario de emisiones inferior a la tendencia actual al año 2100 (Escenario B2 del IPCC), la temperatura aumentaría de 2,2 °C a 2,7 °C con variaciones por país, con un promedio regional de 2,5 °C respecto al promedio de 1980-2000. En el escenario A2, que mantiene la tendencia actual de emisiones crecientes, la temperatura podría aumentar entre 3,6 °C y 4,7 °C con variaciones por país, con un promedio regional de 4,2 °C.

La trayectoria esperada de los niveles de precipitación es más incierta. En el escenario de emisiones globales B2 al año 2100, la precipitación disminuiría 3% en Panamá, 7% en Guatemala, entre 10% y 13% en Costa Rica, Belice, El Salvador y Honduras, y 17% en Nicaragua. Para la región la reducción promedio sería 11%. El escenario A2 al 2100 sugiere una disminución de la precipitación de 18% en Panamá, 35% en Nicaragua y entre 27% y 32% en Costa Rica, Belice, El Salvador, Guatemala y Honduras. Para la región se espera una reducción promedio de 28%.

Tomando en cuenta estos resultados climáticos y escenarios tendenciales de crecimiento económico, demográfico y de cambio de uso de tierra, se realizaron estudios de sectores y ámbitos sensibles al cambio climático. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

**Eventos extremos.** En Centroamérica se han registrado 259 eventos extremos mayores asociados a fenómenos climáticos entre 1930 y 2009. Ha habido múltiples eventos de menor escala cuyos efectos acumulativos no se han evaluado. Los eventos más recurrentes son inundaciones, tormentas, deslizamientos y aluviones, seguidos por sequías, 85% y 10% de los eventos totales registrados. Los desastres con mayor impacto medido son los asociados a ciclones tropicales, cuya ocurrencia se acentúa en la costa atlántica. En las tres últimas décadas los desastres registran un crecimiento anual estimado de 5% respecto a la década de los setenta. Hay consenso de que el aumento de la intensidad de los huracanes y las tormentas está asociado al cambio climático, y que

---

<sup>1</sup> El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) ha establecido cuatro familias de escenarios de vías de desarrollo, y por ende, las emisiones de GEI. Para el presente estudio se recomendó utilizar los escenarios A2 y B2 y cuatro modelos de circulación general, de los cuales se utilizaron tres para el promedio reportado. Véase capítulo 2 para mayor información.



ésta podrá aumentar entre 5% y 10% durante este siglo respecto a las últimas cuatro décadas. Si se confirma que el incremento de la frecuencia de estos eventos en las últimas décadas también es atribuible al cambio climático, se tendrán que incluir los costos relacionados con su frecuencia así como con su intensidad.

**Recursos hídricos.** Centroamérica es una región privilegiada en disponibilidad de agua, pero su distribución entre países, regiones y en las vertientes del Pacífico y del Atlántico es muy desigual, con grandes variaciones intra e interanuales. Esta situación, relacionada con la precipitación, genera alternativamente inundaciones y períodos de sequía severa. Con el aumento de la población, la demanda de agua podría crecer casi 300% al año 2050 y más de 1600% al 2100 en un escenario tendencial sin medidas de ahorro y sin cambio climático. Con cambio climático, la demanda podría aumentar 20% más que en este escenario base en B2 y 24% más en A2. La disponibilidad total del agua renovable podrá bajar 35% con B2 en relación con la disponibilidad actual y 63% con A2 a 2100. En estos escenarios, El Salvador sería el más afectado, seguido por Honduras y Nicaragua. La combinación de cambios en demanda y disponibilidad con cambio climático genera una posible intensidad de uso del agua en 2100 de 36% para la región en un escenario sin cambio climático, y de 140% con B2 y más de 370% con A2 si no se toman medidas de adaptación y ahorro. Este nivel sería muy superior al umbral de 20%, internacionalmente aceptado como crítico para el estrés hídrico, y similar a Egipto y algunos países de la península arábiga en la actualidad.

**Sector agropecuario.** Este sector es un motor de la economía de la región, representando 18% del PIB total incluyendo la agroindustria, y será uno de los sectores más afectados por el cambio climático. Según las estimaciones iniciales a nivel agregado para la región, que no incluyen el efecto de medidas de adaptación, con el escenario con cambio climático A2 a 2100 el índice agropecuario arrojaría una reducción de aproximadamente 9%, siendo particularmente afectado el índice pecuario con una caída de 13%. La producción de maíz tendería a crecer en el corto plazo, con rendimientos ligeramente mayores a 2 toneladas por hectárea, pero luego decrecería, hasta llegar posiblemente a 1,4 toneladas por hectárea cerca de 2100. El rendimiento promedio de frijol podrá declinar de más de 0,7 a menos de 0,1 toneladas por hectárea el año 2100. La producción de arroz tenderá a caer del promedio histórico de 3,5 toneladas por hectárea a entre 2 y 1 toneladas por hectárea. (Existen análisis adicionales a nivel nacional que reportan diversos resultados.)

**Biodiversidad.** Centroamérica contiene el 7% de la biodiversidad del planeta y una gran diversidad geológica, geográfica, climática y biótica. En el escenario de cambio de uso de tierra tendencial (sin cambio climático), el Índice de Biodiversidad Potencial (IBP) bajará aproximadamente 13% durante este siglo, sobre todo en el período hasta 2050. Con el cambio climático, en los escenarios B2 y A2, el IBP disminuiría 33% y 58% a 2100 respectivamente. Los países más afectados serían Guatemala, Nicaragua, El Salvador y Honduras con reducciones entre 75% y 70% del IBP en el escenario A2.<sup>2</sup>

Las conclusiones globales del estudio “La Economía del Cambio Climático en Centroamérica” son:

El cambio climático es una seria amenaza para las sociedades centroamericanas por sus múltiples impactos previstos en la población y en los sectores productivos. En términos fiscales constituye un pasivo público contingente que afectará las finanzas públicas por varias generaciones. Se estima que Centroamérica produce una muy mínima parte de las emisiones GEI globales

---

<sup>2</sup> El IBP incluye especies y ecosistemas y hace inferencia sobre la probabilidad de encontrar mayor diversidad en función de una serie de variables relevantes. Por tanto, no necesariamente coincide con el número de especies y ecosistemas actualmente reportados.

(estimada en menos de 0.3% de las emisiones sin cambio de uso de tierra y menos de 0.8% de las emisiones brutas totales<sup>3</sup>), pero ya es una de las regiones más vulnerables a los embates del cambio climático. Los impactos económicos sobre Centroamérica son ciertamente significativos, a pesar de las incertidumbres por la interacción entre las variables económicas, las condiciones del clima y los aspectos sociales, políticos y culturales.

El cambio climático podrá afectar todos los sectores económicos y sociales directa o indirectamente. Los costos presentados en esta publicación son iniciales y asociados a los impactos analizados en el sector agrícola, recursos hídricos (disponibilidad y consumo municipal y agrícola), biodiversidad (costos registrados económicamente e impacto indirecto en agricultura) y aumento de intensidad de huracanes, tormentas e inundaciones (no incluyendo aumento en su frecuencia y otros tipos de eventos extremos). Entonces, los cálculos representan una visión conservadora e inicial de los costos completos del impacto económico. Con los resultados de los otros estudios programados en el proyecto, se ampliará este estimado inicial. En este reporte se incluyen capítulos que presentan un escenario futuro tendencial de demanda y consumo de energía y estimaciones iniciales de cambios de temperatura en las principales zonas turísticas a 2020 y 2050.

El estimado inicial del costo medible acumulado a 2100 con A2, basado en los impactos en sector agrícola, recursos hídricos, biodiversidad, huracanes, tormentas e inundaciones, equivale a 73 mil millones de dólares corrientes o 52 mil millones de dólares a precios de 2002, aproximadamente 54% del PIB regional de 2008 a VPN y tasa de descuento de 0,5%. (Con una tasa de descuento de 4% el valor equivalente es de 9% del PIB regional de 2008 a VPN, evidenciando la importancia de la tasa utilizada.) El costo acumulado en el escenario B2 al 2100 equivale a 44 mil millones de dólares corrientes y 31 mil millones de dólares a precios del 2002, aproximadamente 32% del PIB de 2008 a tasa de descuento 0,5%. (Con una tasa de descuento de 4% el valor equivalente es de 6% del PIB regional de 2008 a VPN.) Esto equivale a 60% del valor estimado en el escenario A2 a dólares corrientes. Es importante resaltar que el mayor aumento de costos ocurriría en la segunda mitad del siglo, cuando los efectos de las emisiones serían mayores y en general los costos serían bastante elevados al finalizar el siglo en un escenario de inacción.

A nivel de sectores los costos asociados a la producción agrícola aumentarán de manera acelerada a partir del año 2070, especialmente con A2 y una tasa de descuento de 0,5%. Según el análisis inicial del sector hídrico, los impactos en costos se mantendrán relativamente bajos hasta el 2030, y comenzarán a ser altos a partir de 2070, con efectos negativos para todos los países. El costo de los impactos en la biodiversidad, medida por el IBP, crece de manera exponencial a partir del año 2050, con mayor peso de los costos agropecuarios indirectos. Los eventos extremos también muestran un crecimiento acelerado a partir del año 2050, indicando que un aumento de la temperatura se traducirá en una mayor intensidad de este tipo de fenómenos, con mayores costos para los países.

Los impactos del cambio climático en Centroamérica en un escenario de emisiones crecientes e inacción global tipo A2 son significativos y crecientes, con cierto grado de heterogeneidad por países. Se confirmaría la asimetría de que los países desarrollados que más han contaminado sufren menos impactos y tienen los recursos para adaptarse. En cambio, los países que menos han contribuido al problema sufren mayores impactos y tienen menos resiliencia. Se confirma también el planteamiento de que los costos de los impactos en un escenario de inacción global, particularmente de los países emisores grandes, serían más elevados que los de un escenario con un acuerdo internacional equitativo

---

<sup>3</sup> Estimaciones basadas en los inventarios nacionales de 2000 y cifras globales del IPCC (2007d), y en la base de datos CAIT del *World Resources Institute*. Es importante notar la alta incertidumbre relacionada con las emisiones de cambio de uso de tierra.

e incluyente que lograra reducir significativamente las emisiones. Tendría que ser un acuerdo con responsabilidades compartidas pero diferenciadas entre los países, que facilite a los países más expuestos tomar medidas de adaptación y mitigación en un marco de desarrollo sostenible.

Desde la óptica económica es más rentable actuar ahora que dejar el problema a las generaciones futuras, además de las consideraciones éticas de esta posición. Los resultados confirman que el cambio climático es el mayor fracaso del mercado jamás visto por no internalizar el valor del clima como bien público global y no registrar adecuadamente los impactos sociales y en los servicios ambientales. Esto implica que, más allá de la valorización económica, se requiere tomar decisiones éticas respecto a las inequidades intrageneracionales adicionales y a como valorizar las necesidades de futuras generaciones y de los ecosistemas, que nos prestan múltiples servicios ambientales, los cuales perderemos antes de que el mercado nos de señales que pudieran incentivar su adecuado manejo.

El reto de adaptación para Centroamérica es altamente preocupante porque exige redoblar esfuerzos para reducir la pobreza, la desigualdad y la vulnerabilidad socioeconómica y ambiental, y aumentar la resiliencia y la capacidad adaptativa de las sociedades, poblaciones específicas y ecosistemas conexos. Debe admitirse asimismo que habrá límites a la adaptación, con pérdidas y daños no reparables aun si hubiera financiamiento abundante, especialmente en el escenario de inacción con una economía mundial alta en carbono.

Las sociedades centroamericanas necesitan evitar estrategias *ad hoc* de lógica inercial que podrían resolver urgencias pero profundizarían los riesgos. En esta lógica el cambio climático puede considerarse importante pero no atendible a fondo dadas las restricciones presupuestarias profundizadas por la actual recesión global y las presiones de las urgencias sociales y económicas que podrían enfrentarse convencionalmente. En las negociaciones internacionales hay una tendencia a separar las medidas de adaptación de las de mitigación. Esta solución puede ser impráctica para países con recursos fiscales y de inversión limitados.

Más recomendable sería lograr acuerdos nacionales, regionales e internacionales para impulsar **estrategias adaptativas sustentables** que integren las acciones de reducción de vulnerabilidades con las de adaptación y las medidas de transición a economías más sostenibles y bajas en carbono. Esto incluye acciones de mitigación diseñadas para generar cobeneficios de adaptación en un conjunto de instrumentos encaminados al desarrollo sostenible y equitativo. En este escenario la actual recesión económica global y los riesgos de cambio climático serían convertidos en oportunidad para revisar a profundidad la especialización productiva de las economías. Esto incluiría sus formas de inserción en los mercados regional y global, los vínculos entre sus patrones energéticos y las externalidades negativas por emisiones contaminantes y GEI, pérdidas de salud pública y de cosechas, debilidades de la infraestructura rural y urbana, degradación de ecosistemas y pérdida de sus servicios que se traducen en costos sociales y ambientales crecientes.

Las políticas públicas adaptativas sustentables podrían diseñarse *ex ante* en forma “empaquetada” y coherente, a partir de sinergias intra e intersectoriales en grandes bloques de políticas, con objetivos sectoriales y territoriales explícitos. En este sentido, los resultados obtenidos por el proyecto sugieren la conveniencia de explorar ejes de opciones de políticas agrupados de la siguiente forma:

- Adaptación de la población humana con políticas de reducción de la pobreza y la desigualdad, incluyendo los ejes de seguridad alimentaria, gestión integral de recursos hídricos y reducción de impactos de eventos extremos con ordenamiento territorial.

- Transición a economías sostenibles, bajas en carbono y eficientes en el uso de recursos naturales, introduciendo cambios estructurales y tecnológicos en torno a los ejes de seguridad y eficiencia energética, gestión integral de recursos hídricos y reducción de la deforestación.
- Protección de los ecosistemas naturales, especialmente los bosques, para mejorar su propia adaptación y asegurar su provisión perdurable de servicios ambientales a los seres humanos, como un eje clave de transición hacia economías más sostenibles y para la adaptación.
- Medidas previsoras y proactivas de política fiscal y financiamiento como eje transversal, creando incentivos correctos para la transición económica y la adaptación.
- Apalancamiento de las oportunidades de integración centroamericana, particularmente crítico para la gestión de recursos hídricos, la seguridad alimentaria y energética, la competitividad, el comercio y las negociaciones internacionales.

Las sociedades centroamericanas necesitan volverse audaces gestoras del recurso hídrico, asegurando su uso sostenible y eficiente para beneficio de la población y la producción. Blindar la seguridad alimentaria ante el cambio climático, particularmente de granos básicos, y transitar hacia una agricultura más sostenible es un gran reto, pero necesario para proteger a la población pobre, tanto pequeños productores como consumidores urbanos. La protección de los ecosistemas naturales y su biodiversidad, incluyendo bosques, sistemas montañosos y fluviales, zonas costero-marinas, incluyendo corales y manglares, es vital para mantener los múltiples servicios que éstos proporcionan a la población humana y otros seres vivos. Un elemento esencial de adaptación al cambio climático y la transición a economías bajas en carbono es el cambio tecnológico, entendido como acceso a tecnologías modernas y rescate de conocimientos y tecnologías tradicionales y locales, particularmente de los pueblos indígenas y comunidades campesinas. La región ha desarrollado una seria dependencia de fuentes energéticas importadas y de origen fósil altamente contaminantes. El tránsito a una matriz energética basada en fuentes renovables locales mejoraría la seguridad energética, ahorraría divisas y reduciría los impactos negativos de los combustibles fósiles en la salud humana y las emisiones GEI y necesita ser diseñado para minimizar impactos ambientales negativos y beneficiar a la población que vive en pobreza.

Las ventajas y desventajas de estas opciones de respuesta pueden variar entre países y dependen de los acuerdos internacionales por establecerse. Precisamente por este contexto variable y por tratarse de escenarios futuros a largo plazo que integran diversas “capas” de análisis con sus respectivas incertidumbres y dificultades metodológicas, los resultados deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como cifras exactas.

Es urgente hacer frente al desafío del cambio climático en forma proactiva. De otro modo las generaciones futuras cargarán un costo muy elevado para mitigarlo y adaptarse a él. El presente estudio demuestra que el valor presente del costo de los impactos del cambio climático resultará demasiado alto a la postre si no tomamos medidas ambiciosas e inmediatas. Debido a que es una falla de mercado, el cambio climático no puede ser tratado como responsabilidad exclusiva de las instituciones ambientales, sino como problema económico central y transversal con serias implicaciones fiscales.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa una seria amenaza para las sociedades centroamericanas por sus múltiples impactos previsibles en la población y en los sectores productivos. En términos fiscales constituye un pasivo público contingente que afectará las finanzas públicas por generaciones. Aunque se estima que para 2030 Centroamérica seguirá produciendo una parte muy mínima parte de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) del planeta, ya es una de las regiones más vulnerables a sus consecuencias. El incremento de la temperatura atmosférica, la reducción y la inestabilidad del régimen de lluvias y el aumento de la temperatura y el nivel del mar, aunados a la intensificación de los fenómenos meteorológicos extremos —como sequías y huracanes— impactarán la producción, la infraestructura, los medios de vida, la salud y la seguridad de la población, además de que debilitarán la capacidad del ambiente para proveer recursos y servicios vitales.

Los presidentes del Sistema de Integración Centroamericana (SICA), en su Cumbre sobre el Cambio Climático en mayo de 2008, establecieron una serie de mandatos a sus instituciones nacionales y regionales sobre la respuesta al cambio climático, ratificados en su Cumbre de junio de 2010. En el marco de esta iniciativa y en consulta con los ministros del ramo, la CEPAL y el Comité Técnico de Cambio Climático de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) prepararon el proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica.

El proyecto fue aprobado por los ministerios e inició en enero de 2009 con financiamiento del Ministerio para el Desarrollo Internacional (DFID) del gobierno británico y más recientemente de la Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca (DANIDA). Su finalidad es alertar a los tomadores de decisiones y actores clave de la región sobre la urgencia de enfrentar el reto de cambio climático y propiciar un diálogo sobre opciones de políticas y acciones nacionales y regionales. Su objetivo específico es realizar una evaluación económica del impacto del cambio climático en Centroamérica en diversos escenarios de desarrollo y trayectorias de emisiones, frente a los costos y beneficios de potenciales respuestas de inacción (business as usual), opciones de reducción de vulnerabilidad, adaptación y transición hacia una economía sostenible y baja en carbono.

El Comité Directivo del proyecto está constituido por los ministros de Ambiente y Hacienda/Finanzas de los siete países de Centroamérica y cuenta con un Comité Técnico Regional con delegados de dichos ministerios, la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) del Sistema de Integración de Centroamérica (SICA) y la Secretaría de Integración Económica de Centroamérica (SIECA); la Sede Subregional de la CEPAL en México funge como Unidad Coordinadora del Proyecto. La iniciativa se coordina con varias divisiones de la CEPAL, especialmente la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos (DDSAH) y la División de Población (CELADE).

El proyecto es parte de una red global de estudios nacionales y regionales sobre la economía del cambio climático y tomó como punto de referencia el Informe Stern (2007), que realizó una valorización económica del fenómeno a nivel global y alertó que los costos de inacción son más elevados que los de las medidas proactivas y tempranas para mitigar las emisiones. Esta red, que incluye expertos de la región y miembros del Panel Intergubernamental de Cambio Climático



(IPCC), ha formulado orientaciones metodológicas para adecuar el análisis a las escalas y a la situación de países en vías de desarrollo.

El estudio establece un escenario macroeconómico tendencial sin cambio climático contra el cual se mide el costo del fenómeno. Se utiliza un análisis de impactos “abajo hacia arriba”, analizando sectores y ámbitos clave como la agricultura, los recursos hídricos, los eventos extremos y la biodiversidad, para después hacer una valorización económica en función del PIB. Se exploran más ampliamente los retos y las opciones de adaptación y desarrollo de economías baja en carbono. Se adopta un escenario futuro al año 2100, con cortes a 2020, 2030, 2050 y 2070 para estimar impactos y costos, manteniendo una perspectiva de largo plazo para evidenciar el crecimiento de los riesgos en el tiempo, particularmente en la segunda mitad del presente siglo, considerando las limitaciones de series de datos históricos. Para opciones de mitigación se adopta a un marco temporal hacia 2030 por la incertidumbre sobre cambios tecnológicos, con cortes a 2010 y 2020. Finalmente, se acuerda un enfoque común para la utilización de tasas de descuento, lo cual se detalla en la sección sobre la valorización económica. Debe advertirse que prevalece un alto nivel de incertidumbre por tratarse de escenarios a muy largo plazo, y por la integración de diversas “capas” de análisis, como son los escenarios climáticos y macroeconómicos tendenciales, los estudios de impactos en diversos ámbitos y su valorización económica. En este sentido, los resultados deben ser considerados en función de sus tendencias y magnitudes relativas, no como cifras exactas. Igualmente, hay retos metodológicos en los diversos ámbitos. Más adelante habrá que explorar la influencia de los cambios en un ámbito sobre el resto.

Desde enero de 2009 se han desarrollado los siguientes componentes del proyecto: Escenarios climáticos, Escenarios base macroeconómicos y demográficos, Cambio de uso de tierra, Recursos hídricos, Agricultura, Biodiversidad, Eventos extremos, Energía, Valorización económica de impactos (etapa inicial), Pobreza y adaptación (etapa inicial), Escenarios de emisiones y oportunidades/costos de reducciones, Opciones de políticas (etapa inicial). Actualmente están en proceso estudios sobre ecosistemas/bosques y sequía, este último en colaboración con el Mecanismo Mundial de la Convención de Naciones Unidas contra la Desertificación y la Degradación.

En función de los mandatos de los ministros de Ambiente el proyecto proseguirá la evaluación de los impactos del cambio climático en salud, pobreza y poblaciones vulnerables, zonas marino-costeras, opciones de adaptación, reducción de emisiones y transición a economías bajas en carbono y sus potenciales costos, implicaciones fiscales y mecanismos de financiamiento, y fortalecimiento de capacidades. Es importante observar que las ventajas y desventajas de diversas opciones de política pueden variar entre países y dependen de acuerdos internacionales aún por establecerse. Por este contexto variable e incierto, el proyecto busca proporcionar un análisis diverso, no necesariamente vinculado a la posición de algún país en particular. El proceso consultivo con los socios institucionales principales se ampliará con actividades de divulgación y discusión de los resultados y de fortalecimiento de capacidades técnicas en los próximos años.

Este Reporte técnico presenta los análisis hechos durante los primeros dos años de trabajo. Es una ampliación técnica de la Síntesis publicada en 2010 y contiene esta introducción, los mensajes clave y capítulos que resumen las metodologías, los resultados y recomendaciones iniciales de los diversos estudios. Fue preparado por la Unidad Coordinadora del Proyecto (UCP) y revisado por el Comité Técnico Regional (CTR). Esta publicación apoyará los procesos de fortalecimiento de capacidades técnicas de la región. Es importante seguir desarrollando las metodologías de análisis del cambio climático por la complejidad multisectorial y multidisciplinaria y las incertidumbres presentes en las prospectivas futuras y los análisis climáticos.

# I. ESCENARIOS CLIMÁTICOS

## I.1 INTRODUCCIÓN

El clima terrestre es un bien público común, soporte de millones de especies de animales, plantas y otras formas de vida, y producto de la constante y compleja interacción de esta vida con la atmósfera, los océanos, las capas de hielo y nieve y los continentes del planeta. También es uno de los elementos que determinan el éxito o fracaso de muchas actividades económicas. Sequías, inundaciones, heladas, ondas de calor, granizadas u otro tipo de condiciones extremas resultan con frecuencia en baja disponibilidad de agua, pérdida de cultivos, contracción de la producción o baja producción hidroeléctrica (Landa, Magaña y Neri, 2008). Las formas de variabilidad de clima son múltiples, así que pronosticarlas es una tarea difícil (Conde y otros, 2006; Landa, Magaña y Neri, 2008).

La temperatura juega un papel muy importante en las condiciones del clima al afectar los niveles de evaporización, transpiración y procesos asociados como el ciclo hidrológico y la radiación absorbida por la superficie de la tierra (Flower, V. G. Mitchell y Codner, 2007; Ekström y otros, 2005). De esta forma, cambios de magnitud y de la tasa de cambio de la temperatura pueden tener efectos importantes en las condiciones de clima, los ecosistemas y, en consecuencia, en las actividades socioeconómicas (Stern, 2007; Walther y otros, 2002; Salinger, 2005; Zhao y otros, 2005; IPCC, 2007c). El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) ha revisado la evidencia empírica a nivel internacional, la cual muestra que la temperatura media global de la superficie del planeta se ha incrementado en un rango de  $0,7 \pm 0,19$  °C durante el último siglo (IPCC, 2007d).

Las consecuencias de un aumento en la temperatura media del planeta para Centroamérica son múltiples y con elevados costos económicos por sus efectos negativos en la biodiversidad, la agricultura, la disponibilidad de agua y la ocurrencia de eventos extremos como sequías más intensas e inundaciones. A pesar del alto nivel de incertidumbre de las simulaciones del clima a largo plazo, las investigaciones recientes sugieren una disminución de las precipitaciones en la mayor parte del norte de Centroamérica.

Esta situación muestra la necesidad de contar con una simulación de las principales variables climáticas (precipitación y temperatura). La evaluación de los impactos del cambio climático en Centroamérica requiere generar escenarios a largo plazo mediante modelos de circulación general de la atmósfera (MCG). Éstos permiten estimar las trayectorias futuras de las anomalías de temperatura y precipitación a escala espacial a nivel país y, donde sea posible, a menor escala, a fin de que sean utilizadas por los equipos de investigación en estudios sectoriales.

El presente capítulo tiene como objetivo presentar los resultados de los escenarios climáticos para el conjunto de países de Centroamérica, elaborados por el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), los cuales son utilizados en las evaluaciones de impacto y adaptación.



En la generación de los escenarios de cambio climático para el proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica”, se utilizaron metodologías del Grupo de Trabajo I y del Grupo de Trabajo II del Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC (AR4) y, principalmente, la actualización metodológica realizada en junio de 2007 por el TGICA-IPCC (IPCC, 2007e)<sup>1</sup>. En la primera parte del capítulo se presentan de manera general las principales tendencias del clima global y regional. En la segunda parte se exponen los resultados de las simulaciones de los modelos generales de clima bajo distintos escenarios de emisiones globales.

## 1.2 TENDENCIAS GLOBALES DEL CLIMA

En el Cuarto Reporte del IPCC (IPCC, 2007d; IPCC, 2007b) se establece que los incrementos de las temperaturas medias del aire y el océano, el derretimiento generalizado del hielo y la nieve y la elevación del nivel medio del mar son evidencias inequívocas del calentamiento del sistema climático. En el reporte se estima que existe un 90% de confianza en que el calentamiento global del siglo XX se debe al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) antropogénicas<sup>2</sup>. En conjunto, los GEI, medidos por su impacto de calentamiento equivalente en dióxido de carbono, registraron en el 2005 una concentración aproximada de 430 ppm CO<sub>2</sub>e (partes por millón en CO<sub>2</sub> equivalente), y aumentan a 2 ppm por año, frente a un nivel preindustrial de 290 ppm CO<sub>2</sub>e. El crecimiento de la concentración de dichos gases en la atmósfera desde la era preindustrial se debe en gran parte al uso de combustibles fósiles y al cambio en el uso del suelo (véase el gráfico 1.1).

La evidencia disponible indica que entre 1998 y 2005 se reportaron las temperaturas de aire superficial global más altas desde 1850. El período 1995-2006 es considerado el conjunto de 12 años más cálidos desde mediados del siglo XIX. Asimismo se presentó un aumento de la temperatura media mundial, ya que la tasa de calentamiento durante los últimos 50 años ha sido en promedio  $0,13\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$  por década, duplicando la tasa de los últimos 100 años. Los resultados presentados en el gráfico 1.1 indican que en los dos períodos de 25 y 50 años la temperatura ha aumentado entre  $0,177 \pm 0,052$  y  $0,128 \pm 0,026$  grados centígrados, respectivamente. Esto representa un incremento significativo respecto a aumentos históricos registrados en el último siglo o siglo y medio.

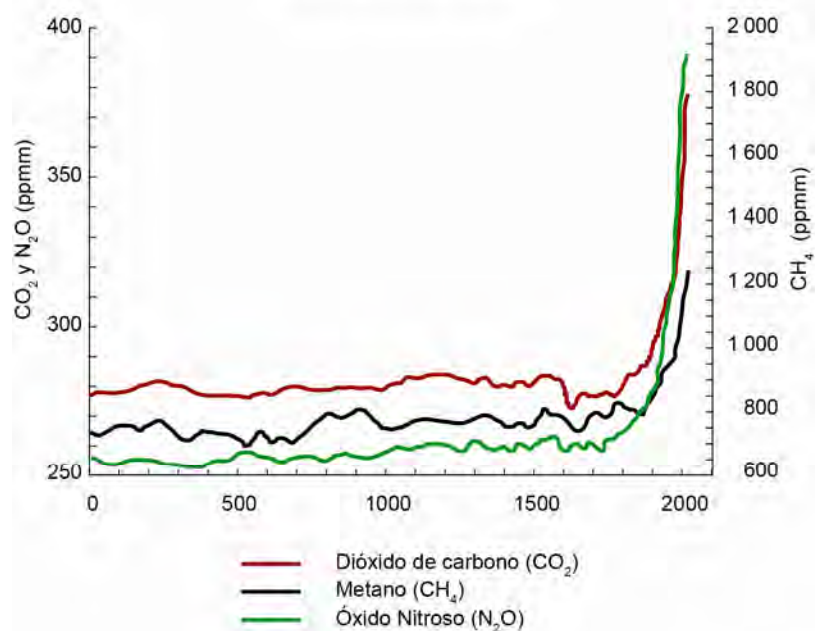
En lo que se refiere al cambio del ciclo hidrológico, durante los últimos cien años se ha observado un aumento significativo de las precipitaciones en algunas regiones, como en las zonas orientales de América del Norte y de América del Sur, mientras que en otras zonas se ha registrado una disminución. En términos generales, durante el período 1900-2005 las lluvias se incrementaron a partir de los 30 grados hacia el norte, pero en los trópicos se registran tendencias a la baja desde el decenio de 1970. Entre los 10 y los 30 grados norte, la precipitación aumentó en forma notable entre 1900 y la década de 1950, pero disminuyó después de 1970. También se registra una tendencia a la baja entre los 10 grados norte y los 10 grados sur, en especial después de 1976 y 1977. Los cambios en los patrones de precipitación presentan mayores variaciones geográfica y temporales en comparación con los cambios de temperatura (véase el gráfico 1.2).

<sup>1</sup> Se refiere al Grupo de Tarea sobre Datos y Escenarios en Apoyo a los Análisis de Impacto y Clima (*Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis*).

<sup>2</sup> Los principales gases de efecto invernadero GEI son dióxido de carbono, óxido nitroso, metano y ozono, además del vapor de agua. Otros GEI son los halocarbonos, el hexafluoruro de azufre, los hidrofluorocarbonos y los perfluorocarbonos (IPCC, 2001d; 2001b; 2001a).

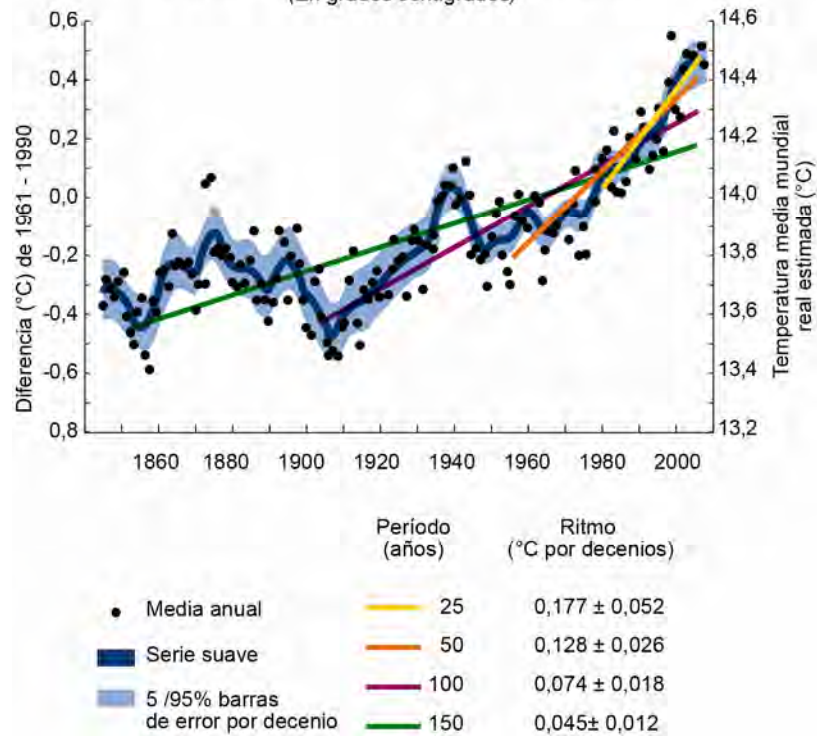
**GRÁFICO I.1**  
**MUNDO: EVIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO, AÑO 0 A 2005**

(Concentraciones de los GEI)



**MUNDO: TEMPERATURA MEDIA, 1840 A 2005**

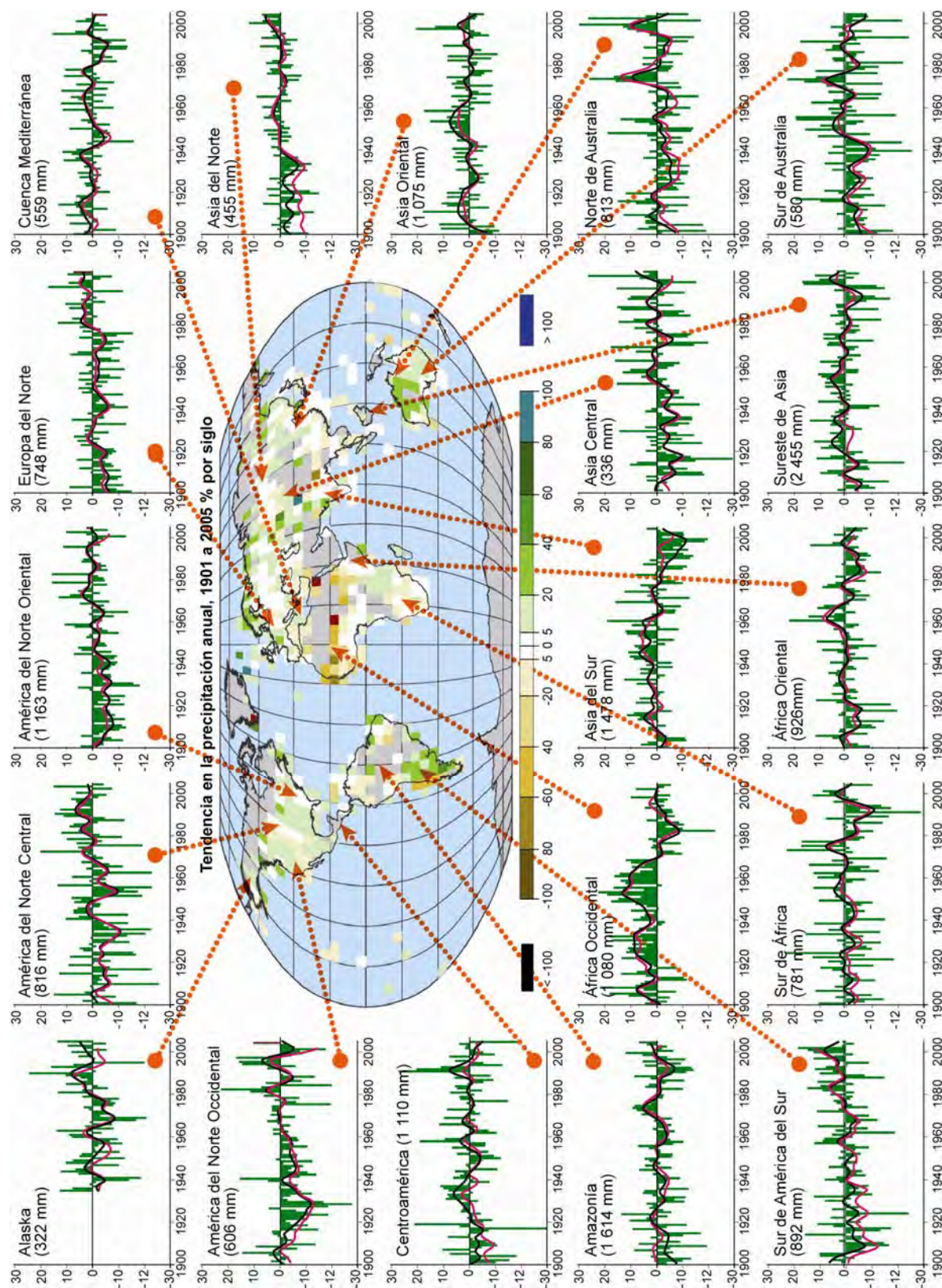
(En grados centígrados)



Fuente: IPCC, 2007c.



**GRÁFICO 1.2**  
**REGIONES DEL MUNDO: ANOMALÍA DE PRECIPITACIÓN, 1901 A 2005**  
*(Milímetros y porcentaje de cambio)*



Fuente: IPCC, 2007c.

### 1.3 TENDENCIAS REGIONALES DEL CLIMA Y DEL NIVEL DEL MAR

De acuerdo con el IPCC (Magrin y otros, 2007), Centroamérica ha presentado una alta variabilidad climática en años recientes. En las últimas décadas se han observado importantes cambios en precipitación y aumentos de temperatura. Las tendencias de los niveles de precipitación muestran una disminución, sobre todo en la región oeste del istmo y un aumento de la temperatura en alrededor de 1 °C en Mesoamérica. Estudios específicos (Aguilar y otros, 2005) muestran tendencias contrastantes en la precipitación de la región centroamericana, con fuertes diferencias de distribución espacial entre la región del Pacífico y la región del Caribe. La gran variabilidad de la precipitación en esta región es causada principalmente por la interacción entre los diferentes sistemas del viento y la topografía.

Las señales de incremento de la temperatura mínima son particularmente claras, no así en las tendencias de la temperatura máxima. Sin embargo, en el rango diurno de temperatura (máxima menos mínima) hay un patrón general de disminución en el mismo período (Fernández, J. Amador y Campos, 2006). El Niño–Oscilación del Sur (ENOS) es la causa principal de la variabilidad del clima en América Latina y es el fenómeno natural con los mayores impactos socioeconómicos. Durante las últimas tres décadas, la región ha enfrentado impactos climáticos relacionados con la intensificación de ocurrencia del ENOS, con dos eventos extremadamente intensos (en 1982-1983 y en 1997-1998) (Trenberth y Stepaniak, 2001)<sup>3</sup>.

A fin de contar con una visión general de las condiciones climáticas de la región se construyó una climatología histórica que cubre el período de 1950 a 2000 y cuenta con los datos de temperatura media anual en grados centígrados (°C) y precipitación acumulada anual en milímetros (mm). Estos datos fueron generados de la base climática de muy alta resolución de WorldClim, que consiste en rejillas de valores mensuales de algunas variables climáticas con una resolución de 30 segundos de arco, cubriendo el período 1950-2000. (Hijmans y otros, 2010; 2005).

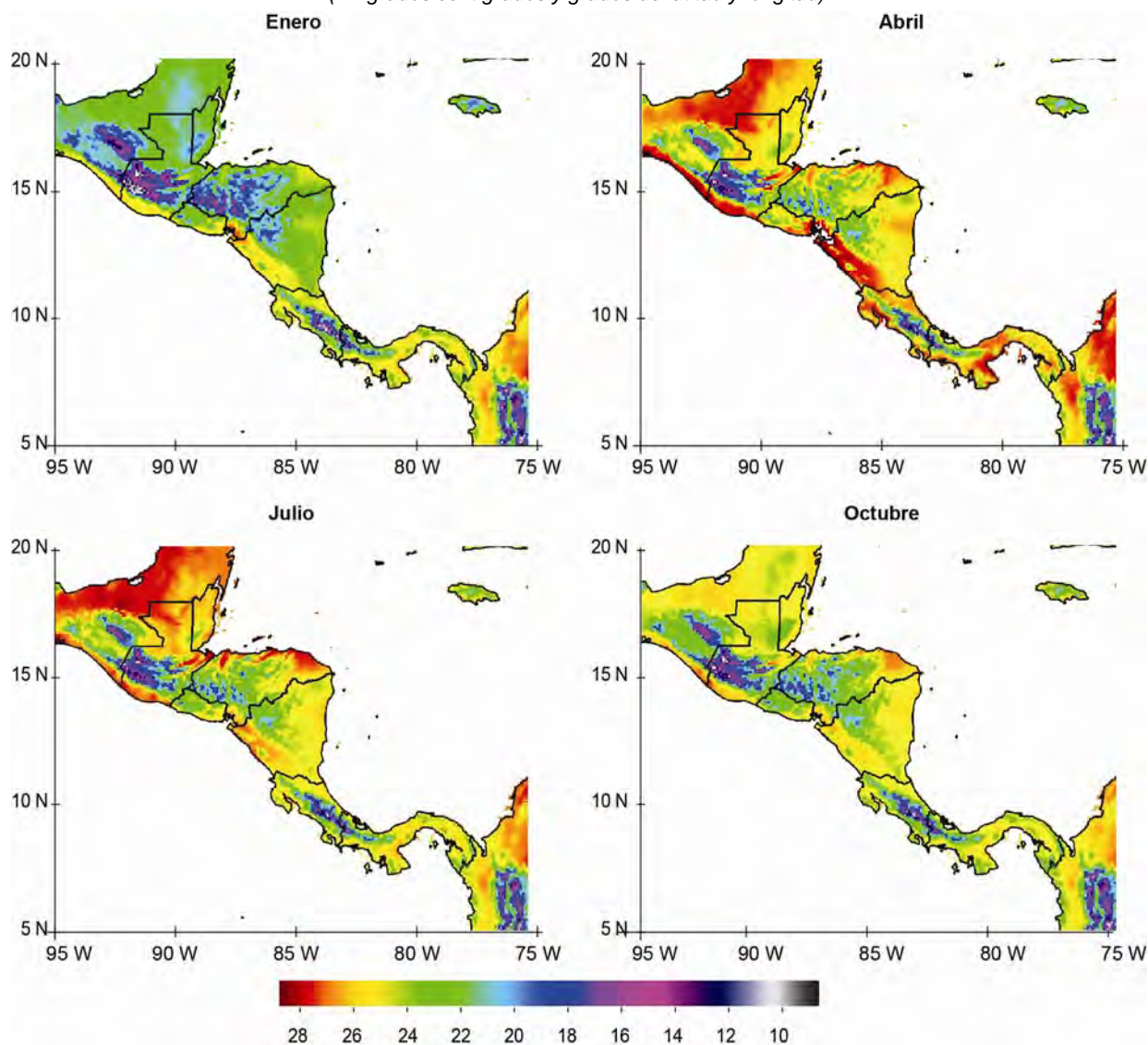
En el mapa 1.1 se hace una representación espacial de la temperatura media para los meses de enero, abril, julio y octubre. Los mapas muestran las mayores temperaturas en los meses de abril y julio, relativo a octubre y enero, y en las zonas bajas y costeras relativas a las zonas de mayor altitud. Las temperaturas más elevadas se presentan en la región del Pacífico, y se ha identificado cierto patrón entre las anomalías de temperatura y la ocurrencia del ENOS, lo que implica condiciones más cálidas en +0,5 °C.

---

<sup>3</sup> ENOS es un fenómeno climático que provoca calentamiento de las aguas del Pacífico oriental y cambios de patrones de precipitación en Centroamérica. En eventos severos se ha registrado una disminución importante de los acumulados de lluvia y cambios en el inicio de la época lluviosa, con implicaciones de menor disponibilidad de agua y más incendios, entre otros fenómenos. Más información sobre los cambios climáticos históricos y los estudios realizados anteriormente en Informe de Factibilidad (CEPAL y DFID, 2009). Más información sobre ENOS en el capítulo VIII sobre eventos extremos climáticos de este libro.



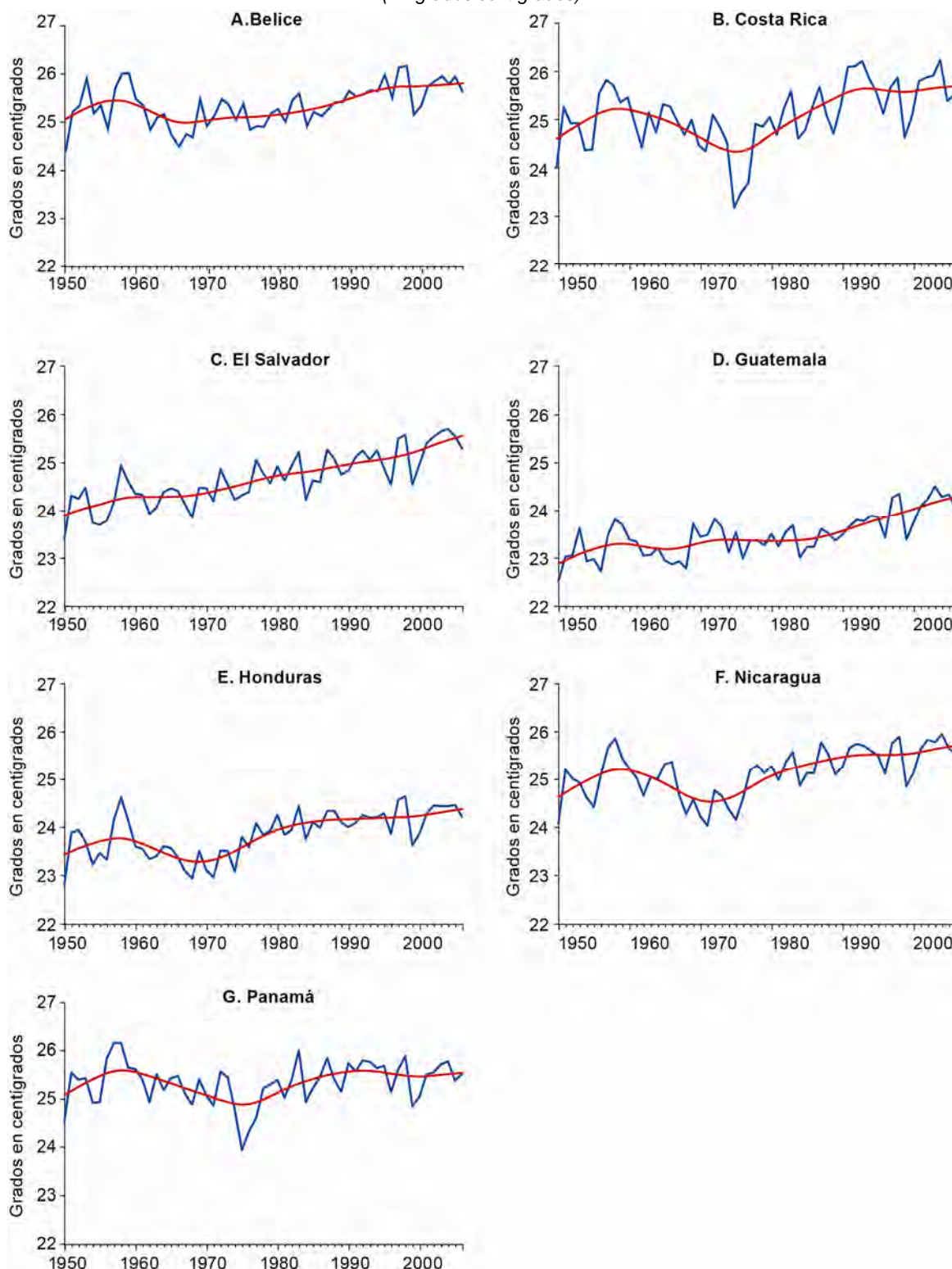
**MAPA I.1**  
**CENTROAMÉRICA: TEMPERATURA MEDIA, MESES DE ENERO, ABRIL, JULIO Y OCTUBRE, 1950 A 2000**  
*(En grados centígrados y grados de latitud y longitud)*



Fuente: Elaboración propia con base en climatología de WorldClim.

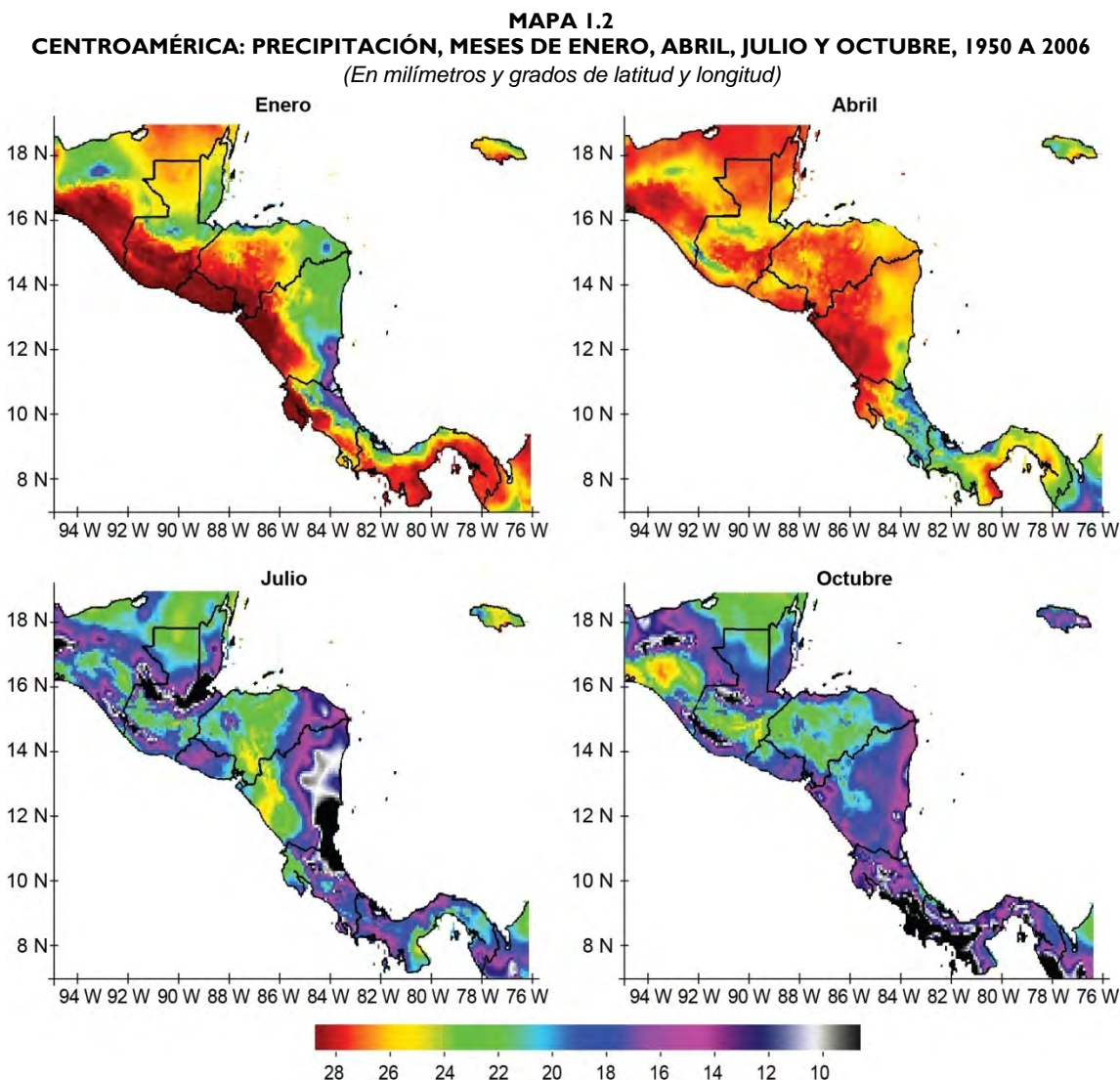
El gráfico 1.3 presenta las tendencias históricas de la temperatura media anual utilizando esta misma climatología. En la mayoría de los países se aprecia que las series de temperatura siguen una tendencia ascendente. Belice muestra un ligero ascenso y una mayor estabilidad a partir de mediados de los años ochenta. En El Salvador, Costa Rica y Guatemala se observa una tendencia ascendente desde la década de los setenta con un incremento de 0,6 °C. Nicaragua y Honduras muestran un patrón similar con una ligera contracción en la década de los sesenta y, posteriormente, registran un crecimiento sostenido con un aumento de 0,4 °C. En Panamá se observa mayor volatilidad desde 1980 con desviaciones respecto a su tendencia de aproximadamente 0,5 °C. De esta forma, los patrones de temperatura en la región muestran diferencias importantes, con ligeros aumentos en Belice, una tendencia ascendente marcada en Guatemala y El Salvador, un menor ritmo de crecimiento en Honduras y Nicaragua, y un aumento en la variabilidad de la temperatura en Panamá.

**GRÁFICO 1.3**  
**CENTROAMÉRICA: TEMPERATURA MEDIA ANUAL Y SU FILTRO HODRICK-PRESCOTT, 1950 A 2006**  
(En grados centígrados)



Fuente: Elaboración propia con base en climatología CRU TS 3.0.

El mapa 1.2 presenta los mapas regionales de los patrones de precipitación observados en la segunda mitad del siglo XX en los meses seleccionados: enero, abril, julio y octubre, derivados de WorldClim. Se observa que la región del Pacífico se caracteriza por tener una época seca de diciembre a abril, y otra húmeda de mayo a noviembre, aproximadamente, con algunas variaciones. La distribución anual de la lluvia es bimodal con máximos en junio y septiembre-octubre y una disminución en julio, la cual se conoce como canícula o veranillo (Ramírez, 1983; Magaña, J. A. Amador y Medina, 1999; García, Zevallos y del Villar, 2003; J. A. Amador y otros, 2006). Las variaciones de la temperatura superficial en los océanos Pacífico y Atlántico tropicales juegan un papel importante en el inicio, final y duración de la estación lluviosa (E. Alfaro, Cid y D. Enfield, 1998; D. B. Enfield y E. J. Alfaro, 1999; E. Alfaro y Cid, 1999b; E. Alfaro, 2007a). Temporales asociados a la ocurrencia de ciclones tropicales son factores importantes de la precipitación observada (Fernández y Barrantes, 1996). Aún cuando los ciclones tropicales tengan trayectorias parecidas, las distribuciones de lluvia asociadas pueden ser diferentes (Fernández y Vega, 1996). En la región del Caribe llueve prácticamente todo el año sin estación seca definida. La precipitación de diciembre a marzo se asocia principalmente con los empujes polares (Schultz, Bracken y Bosart, 1998).

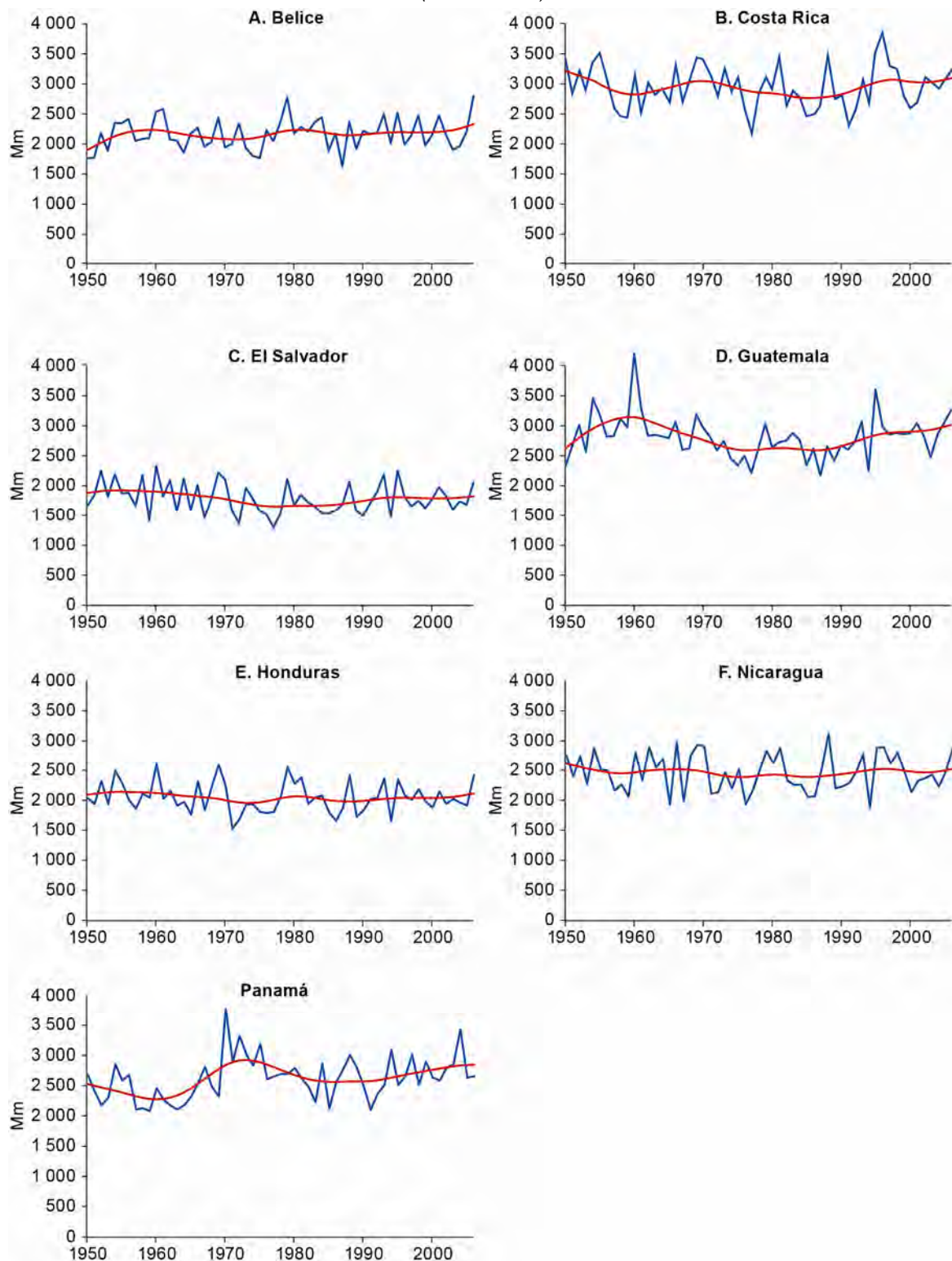


Fuente: Elaboración propia con base en climatología de WorldClim



**GRÁFICO 1.4**  
**CENTROAMÉRICA: PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANUAL Y SU FILTRO HODRICK-PRESCOTT,**  
**1950 A 2006**

(En milímetros)



Fuente: Elaboración propia con base en climatología CRU TS 3.0

El gráfico 1.4 presenta la trayectoria de la precipitación media anual en los siete países durante el período 1950-2006. La tendencia de las series es aproximada por el filtro Hodrick-Prescott (Hodrick y Prescott, 1997). Las series describen un cierto comportamiento cíclico en torno a un valor promedio que en Costa Rica es de 2.932 mm, el valor más alto en la región; Guatemala 2.759 mm; Panamá 2.641 mm y Nicaragua 2.440 mm. Estos cuatro países registran los niveles de precipitación promedio anual más altos. Belice registra un nivel de 2.165 mm; Honduras 2.028 mm y El Salvador 1.769 mm, el menor nivel. Los gráficos muestran claramente la gran volatilidad de las series de precipitación, considerando que se refieren al acumulado anual.

Existen factores relevantes como la influencia de los océanos Atlántico y Pacífico y la altitud. Es importante destacar el efecto de temporales, perturbaciones tropicales que producen lluvia continua durante lapsos mayores de veinticuatro horas (de cerca de dos a cuatro días, usualmente) y que afectan las áreas terrestres, el Océano Pacífico y Mar Caribe circundantes. Este fenómeno se manifiesta en forma diferenciada porque la región está dividida en dos zonas, el Pacífico y el Caribe, y por un sistema de cordilleras que inducen ascenso orográfico. Consecuentemente, a barlovento de las montañas se observa un incremento mucho mayor de la lluvia respecto al promedio. Los temporales del Pacífico ocurren de mayo a noviembre, más frecuentemente en junio y septiembre-octubre. Los temporales del Caribe ocurren con mayor frecuencia durante el invierno del Hemisferio Norte, cuando la región recibe la influencia de empujes de aire frío desde América del Norte.

Sobre la base de la información de la climatología histórica, es posible identificar una ligera disminución de la precipitación media anual. Las desviaciones reportadas en el Cuadro 1.1 indican que en el período de 1980 a 2006 se ha registrado en algunos países una ligera disminución de los niveles de precipitación en relación al período 1950-1979, siendo El Salvador y Guatemala los más afectados. También se registran disminuciones en Honduras. En Nicaragua y Costa Rica se observa cierta estabilidad en los niveles promedio. Belice y Panamá registran una tendencia ascendente.

**CUADRO 1.1**  
**CENTROAMÉRICA: VARIACIÓN EN LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL, 1950 A 2006**  
(En milímetros y porcentajes)

Período	Costa Rica	Belice	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
1950-1979	2 941	2 138	1 799	2 795	2 039	2 444	2 599
1980-2006	2 922	2 196	1 735	2 719	2 016	2 435	2 688
Variación (%)	-0,6	2,7	-3,6	-2,7	-1,2	-0,4	3,4

Fuente: Elaboración propia con base de datos de Worldclim (Hijmans y otros, 2005).

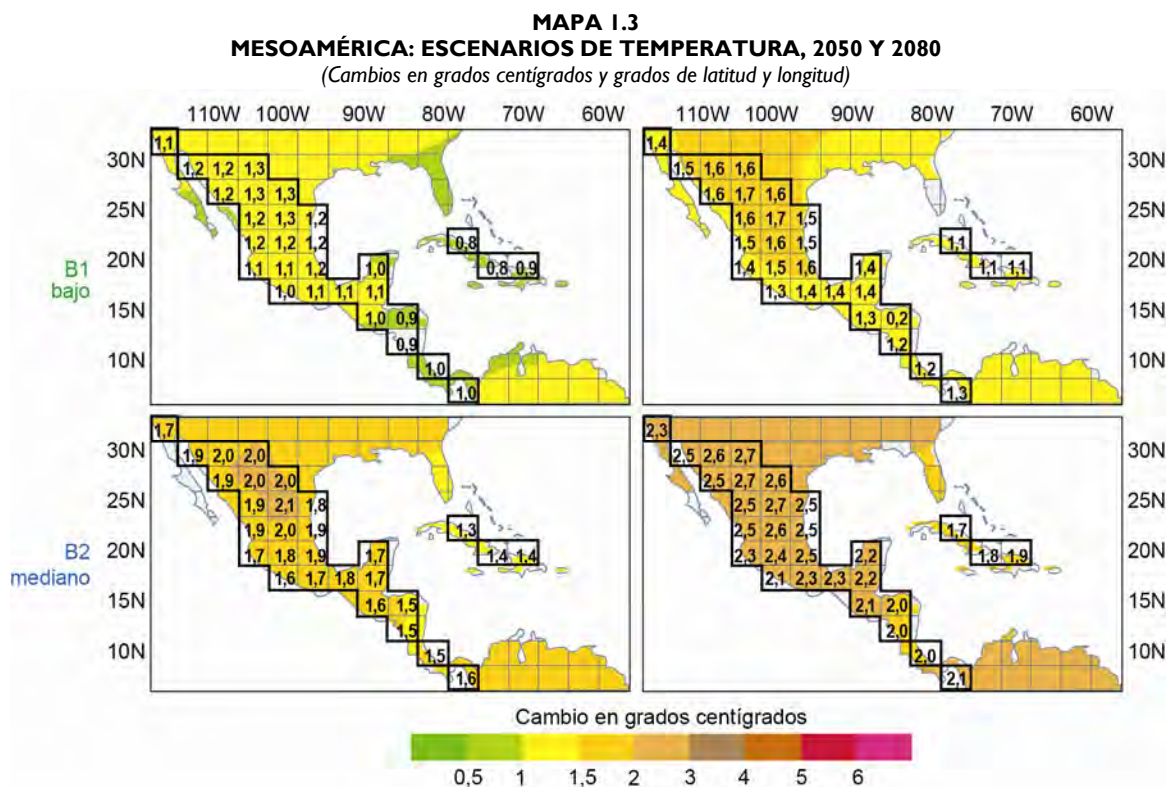
El análisis de las principales tendencias de la climatología histórica muestra que:

- En los siete países se observa una tendencia ascendente de la temperatura media anual de entre 0,6 °C y 0,76 °C en las últimas tres décadas.
- En general, los países han mantenido niveles de precipitación relativamente estables.
- Panamá y Belice registran un ligero crecimiento de la precipitación las tres últimas décadas respecto al período 1950-1979.

Estos patrones han sido identificados por diversas investigaciones empíricas que sirven de referencia para el análisis de los impactos del cambio climático en Centroamérica.

## 1.4 ESTUDIOS ANTERIORES SOBRE ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS PARA CENTROAMÉRICA

Los trabajos para generar proyecciones climáticas regionales en Centroamérica se iniciaron en 1997 como parte de las Primeras Comunicaciones Nacionales, utilizando los escenarios de emisiones IS92 del IPCC de 1996. Posteriormente se han usado los escenarios propuestos por el Tercer Reporte de Evaluación del IPCC sobre emisiones y el programa MAGICC/SCENGEN (Hulme y otros, 2000; Hulme y Sheard, 1999)<sup>4</sup>. El mapa 1.3 presenta la distribución espacial de los escenarios climáticos ante distintos escenarios de emisiones globales A1, B1, A2 y B2<sup>5</sup>, señalando los cambios proyectados en la temperatura anual para los años 2050 y 2080 con respecto al período 1961-1990. El análisis sugiere que la temperatura de la región podría aumentar entre 0,9 °C y 2,8 °C para 2050 y 1,2 °C y 4,1 °C para 2080. El mapa 1.4 muestra la información sobre precipitaciones, proyectando variaciones dentro de la región para cada escenario, de tal forma que será probable encontrar aumentos de precipitación anual en ciertas zonas, como el sureste del istmo, entre 2% y 6% para 2050 y de 3% a 9% en 2080, según el escenario. El ejercicio arrojó la probabilidad de que en el resto del istmo se registren reducciones sustanciales de precipitación anual entre 8% y 18% en 2050 y entre 8% y 27% en 2080.



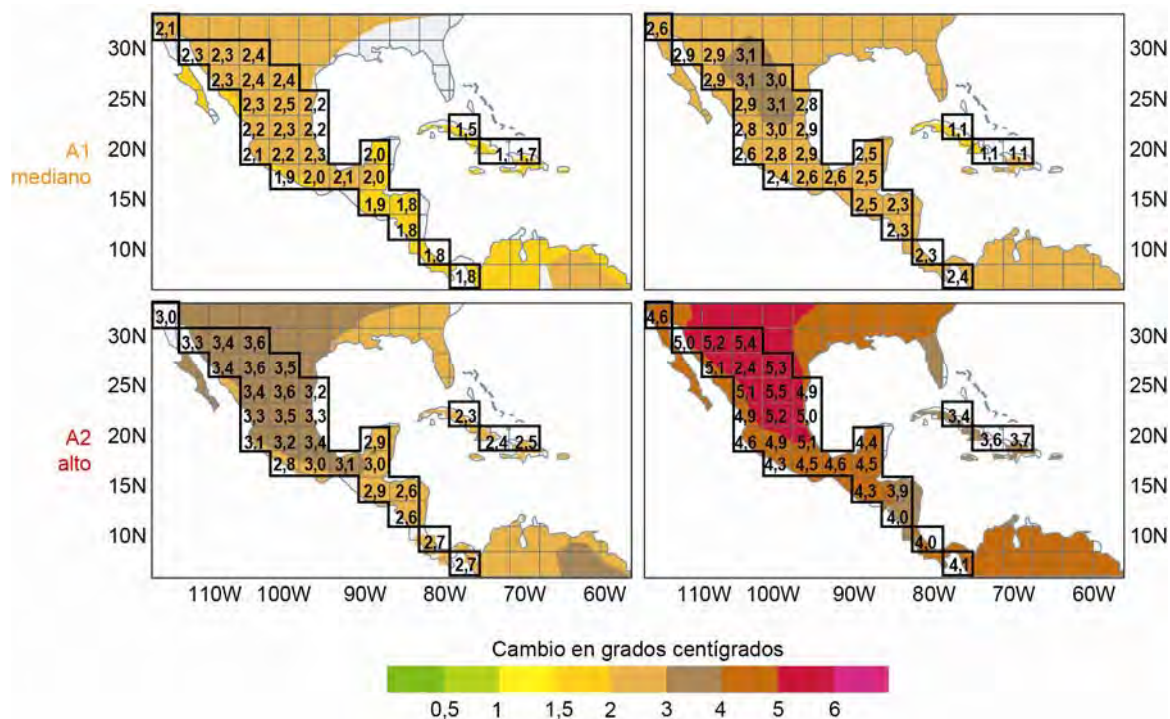
(Continúa)

<sup>4</sup> Un análisis detallado de las distintas investigaciones sobre escenarios climáticos se presenta en el documento CEPAL y DFID (2009).

<sup>5</sup> Las características de desarrollo de los escenarios son: Escenario A2: Mundo muy heterogéneo, autosuficiente y conservación de las entidades locales; Escenario B2: Mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social, medio ambiental, nivel de desarrollo económico intermedio y cambio de tecnología. Escenario A1: Mundo futuro con rápido crecimiento económico y rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. La familia A1 incluye el escenario A1B, que considera una matriz energética más balanceada. Escenario B1: Mundo convergente preponderante en las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y medio ambiental (IPCC, 2000b).



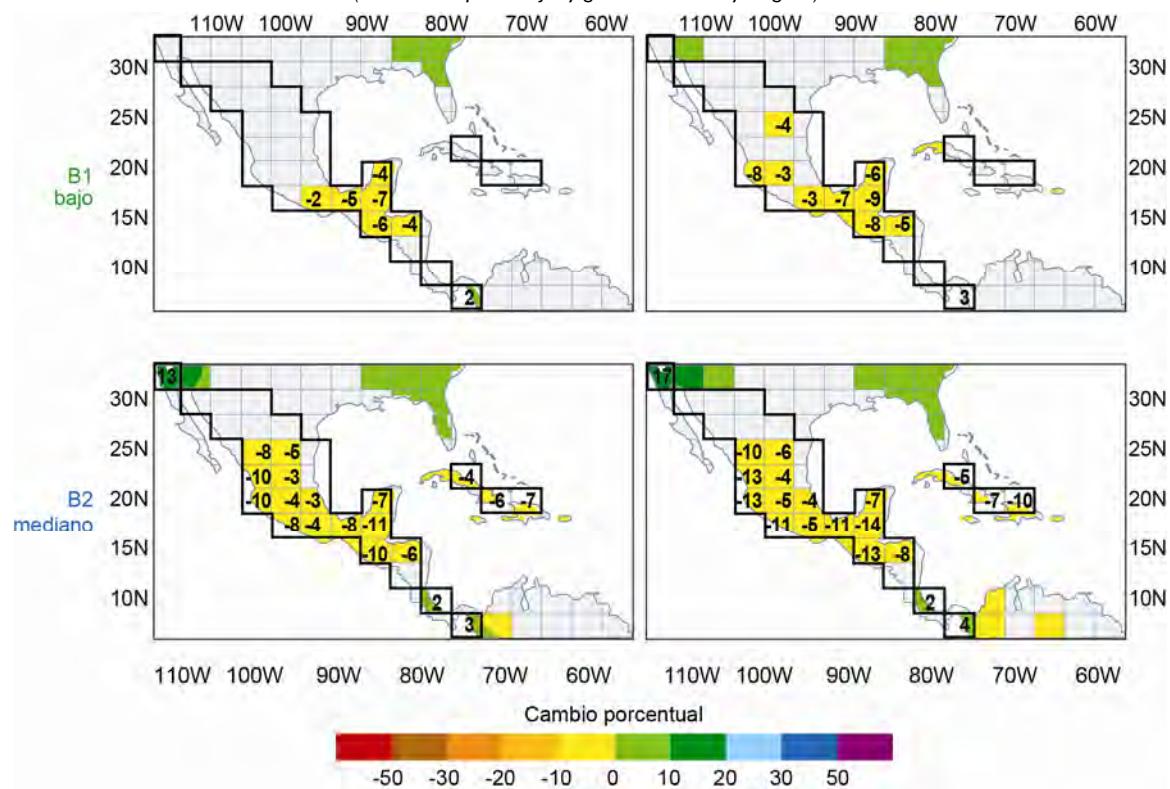
(Continuación Mapa 1.3)



Fuente: Hulme y Sheard, 1999.

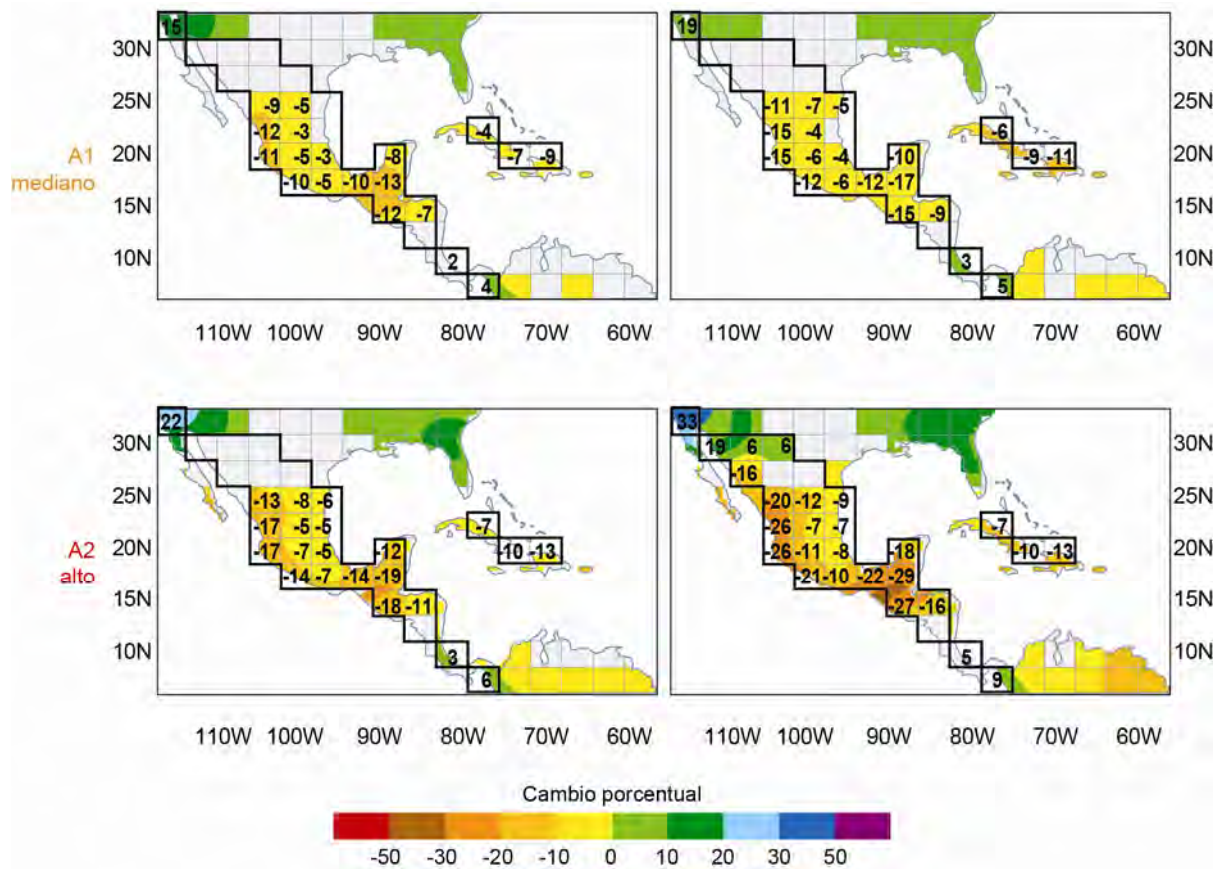
#### MAPA 1.4 MESOAMÉRICA: ESCENARIOS PARA PRECIPITACIÓN 2050 Y 2080

(Cambios en porcentajes y grados de latitud y longitud)



(Continúa)

(Continuación Mapa 1.4)



Fuente: Hulme y Sheard, 1999.

El proyecto *Impacts and Adaptation to Climate Change and Extreme Events in Central America* (AIACC LA06) (Fernández, Amador y Campos, 2006), coordinado por el Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH), utilizó los escenarios de emisiones A2 y B2 y obtuvo posibles escenarios de temperatura y aumento de nivel del mar para los años 2050, 2065 y 2100, usando cinco modelos climáticos de circulación general. Los principales resultados se presentan en el cuadro 1.2, donde se observa que, bajo el escenario A2, se podría esperar un aumento de la temperatura de hasta 3,6 °C hacia el 2100, en tanto que en el escenario B2 la anomalía de temperatura se ubicaría en 2,6 °C para el mismo período. El incremento del nivel medio del mar en la subregión centroamericana es lento a principios del siglo y más acelerado a mediados, entre 37 y 44 cm en 2065. El proyecto produjo distribuciones espaciales de los cambios esperados en la precipitación, comparando la precipitación media anual observada entre 1961 y 1990, con tres horizontes futuros, para el escenario A2–ASF (usando el modelo *Atmospheric Stabilization Framework*). Los resultados de las simulaciones prevén una disminución de los niveles de precipitación al norte de Honduras, en contraste con un aumento en el Caribe sur occidental, incluyendo partes de Costa Rica y Panamá.

**CUADRO 1.2**  
**CENTROAMÉRICA: CAMBIOS PRONOSTICADOS EN TEMPERATURA Y EL NIVEL DEL MAR EN ESCENARIOS**  
**A2 Y B2, 2050 A 2100**  
 (En grados centígrados y centímetros)

Cambios	Horizonte de tiempo					
	2050		2065		2100	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Aumento de temperatura (°C)	1,5	1,5	–	–	3,6	2,6
Aumento en el nivel del mar (cm)	18	18	37	44	–	–

Fuente: Echeverría, 2004.

Otra contribución importante es el trabajo realizado en el marco del proyecto Fomento de las capacidades para la Etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba, coordinado por el Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), con el apoyo del Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica (CIGEF-UCR). El trabajo utilizó la combinación de resultados de varios modelos globales con la técnica de reducción de escala, *Statistical Downscaling System Model* (SDSM), para crear escenarios puntuales referidos a las áreas piloto, en varios casos correspondientes a cuencas prioritarias. El ejercicio fue completado con un análisis de los cambios proyectados mediante el modelo dinámico PRECIS<sup>6</sup>, forzado lateralmente con las salidas del modelo HADCM3 bajo condiciones del escenario de emisiones A2 para el período 2070–2099 (CATHALAC, PNUD y GEF, 2008).

En dicho estudio se encontró que: a nivel regional, la tendencia es que los totales anuales de precipitación disminuyan en ambos escenarios (B2 y A2), a excepción de México y Panamá, que arrojan ascensos o que podrían presentar muy poca variación; la temperatura máxima absoluta podría elevarse en ambos escenarios entre 1 y 3 °C en abril y mayo; los eventos de temperaturas máximas absolutas superiores a 38 °C serían superados significativamente en la mayoría de los países, por lo que la amenaza del cambio climático presenta un comportamiento progresivo creciente.

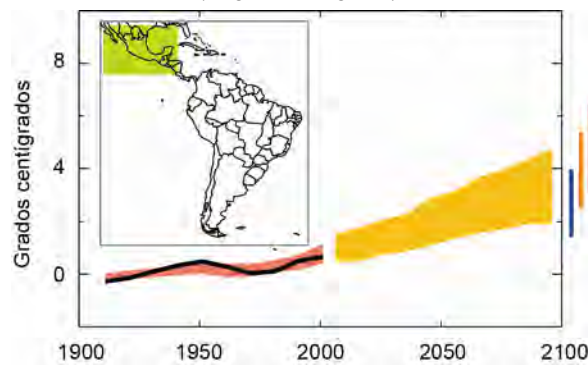
Entre los estudios sobre Centroamérica cabe mencionar el realizado por el Grupo de Trabajo I (WG1) del IPCC (IPCC, 2007d), que estima proyecciones de temperatura y precipitación para el escenario A1B, según el cual, la media anual de temperatura aumentará entre 1,8 °C y 5 °C para el período 2080-2099, comparado con el período 1980-1999. El promedio de los modelos regionales sugiere una disminución de las precipitaciones en la mayor parte del Istmo, donde se espera que la anomalía de la media anual de precipitación sea –9% a fines del siglo XXI. Tanto en esta proyección promedio como en la mayoría de los modelos aplicados se prevé descenso de la precipitación en todas las estaciones de año.

El gráfico 1.5 muestra las anomalías de la temperatura entre 2001 y 2100 respecto al período 1901-2000 para la subregión (línea negra), con datos de múltiples modelos. Las barras a la derecha indican los cambios proyectados para el período 2091-2100: la azul representa el resultado en el escenario B1, la naranja el escenario A1B y la roja el escenario A2.

<sup>6</sup> El Instituto de Meteorología de Cuba ha dado acceso a los países de Mesoamérica a las salidas del modelo de alta resolución PRECIS (INSMET, 2010).



**GRÁFICO 1.5**  
**MESOAMÉRICA: VARIACIONES DE LA TEMPERATURA EN EL PERÍODO 2001 A 2100**  
**RELATIVO A 1901-2005**  
(En grados centígrados)



Fuente: IPCC, 2007d.

Mediante el uso de siete modelos generales de circulación y los cuatro escenarios principales del IPCC, el Cuarto Reporte de Evaluación (IPCC, 2007c) estima los rangos correspondientes a los cambios de temperatura y precipitación para Centroamérica en dos “estaciones” del año, que se presentan en el cuadro 1.3. El incremento mayor en la estación húmeda sería de 6,6 °C, mientras que la precipitación variaría entre una reducción de 30% y un incremento de hasta 5%.

**CUADRO 1.3**  
**CENTROAMÉRICA: CAMBIOS PROYECTADOS EN TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN,**  
**2020, 2050 Y 2080**  
(En grados centígrados y porcentajes)

Estación	Cambios en temperatura °C		
	2020	2050	2080
Seca	+0,4 a +1,1	+1,0 a +3,0	+1,0 a +5,0
Húmeda	+0,5 a +1,7	+1,0 a +4,0	+1,3 a +6,6
Estación	Cambios en precipitación (%)		
	2020	2050	2080
Seca	-7 a +7	-12 a +5	-20 a +8
Húmeda	-10 a +4	-15 a +3	-30 a +5

Fuente: IPCC, 2007c.

Las investigaciones sobre los escenarios climáticos para Centroamérica muestran en general que se espera un aumento de la temperatura media conforme avance el siglo, en un rango de 3 a 5 °C hacia el año 2100, dependiendo del escenario de emisiones. Sin embargo, en precipitación se observa una variación fuerte en todos los escenarios. En general, la tendencia indica una disminución de la precipitación, aunque en algunas zonas podría aumentar.

Es importante señalar que estas estimaciones tienen algún grado de incertidumbre respecto de las emisiones de GEI futuras, la variabilidad climática natural y la inherente a los Modelos de Circulación General Acoplados al Océano (AOGCMs por sus siglas en inglés), cuyos resultados ante idénticas condiciones de emisiones y horizontes arrojan rangos de variación amplios. En este contexto, la estimación de los impactos de un aumento de la temperatura y particularmente de

cambios en los patrones de precipitación, con base en la información de los escenarios regionales, es un problema de frontera con alto nivel de incertidumbre.

Los escenarios regionales del IPCC (IPCC, 2007c) corresponden a proyecciones de temperatura y precipitación, pero el concepto regional se refiere a extensiones de nivel casi continental, como América del Norte, Europa o África. Con resolución espacial tan amplia es difícil definir acciones de adaptación para cuencas y ecosistemas locales y regionales. No obstante, es factible identificar ciertos patrones relacionados con la temperatura y la precipitación. Esto permite establecer el marco de los posibles escenarios del cambio climático en Centroamérica, los cuales sirven de base para analizar posibles impactos y costos económicos. En este sentido, y como parte de los objetivos del proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica”, se presentan a continuación los escenarios de temperatura y precipitación desarrollados para la región.

## 1.5 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO A 2100 PARA CENTROAMÉRICA

En el marco del proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica” se simularon escenarios climáticos de temperatura y precipitación para el período 2006-2100 en los siete países, con apoyo del CCA de la UNAM<sup>7</sup>. El IPCC publicó en el año 2000 el “*Special Report on Emissions Scenarios*” (SRES, por sus siglas en inglés; Nakicenovic y otros, 2000), tercera generación de escenarios preparados por el Panel. Estos escenarios han sido utilizados por el Tercer Reporte de Evaluación (TAR) y el Cuarto Reporte de Evaluación (AR4). Los escenarios, agrupados en “familias”, buscan establecer pautas de desarrollo diferenciado futuro de la sociedad humana que podrían influir en los futuros niveles potenciales de emisiones (véase la nota al pie de página número 5). Los expertos del CCA recomendaron utilizar principalmente los escenarios A2 y B2 del IPCC, por algunas características que podrían ser consistentes con el tipo de desarrollo observado en Centroamérica, sin asumir suposiciones sobre un mayor crecimiento económico de los países, como lo hacen las familias A1 y B1. Estos escenarios han sido utilizados en estudios regionales de América del Sur, México y el Caribe, lo que permite mayores posibilidades de comparar los resultados con los del presente estudio (Estrada, 2009).

Si bien la contribución de Centroamérica a las emisiones globales es muy pequeña, es importante notar que la selección de estos dos escenarios se justifica por su rango razonable de supuestos sobre el desarrollo futuro global y, por ende, sobre la creciente acumulación de emisiones mundiales que impactarán la región. No obstante, se hizo un ejercicio para asegurar que los escenarios macroeconómicos generados por la modelación basada en las tendencias históricas estén en el rango generado por los ejercicios de *downscaling* de los escenarios IPCC realizados por el Instituto Internacional de Análisis Sistemático Aplicado (IIASA) para la región (véase el cap. 2).

A pesar de que ninguno de los escenarios del IPCC incluye explícitamente acciones de mitigación, los escenarios A1B (Emisiones medias-altas en el rango de SRES), B2 (emisiones medias-bajas en el rango del SRES) y B1 (las emisiones más bajas de SRES) ofrecen la ventaja de que pueden ser utilizados como sustitutos de escenarios de estabilización a 750 ppm, 650 ppm y 550 ppm, respectivamente, debido a la similitud en trayectorias (IPCC, 2007c). El escenario A2 representa una línea de emisiones alta y no guarda similitud con ningún escenario de estabilización. En este sentido,

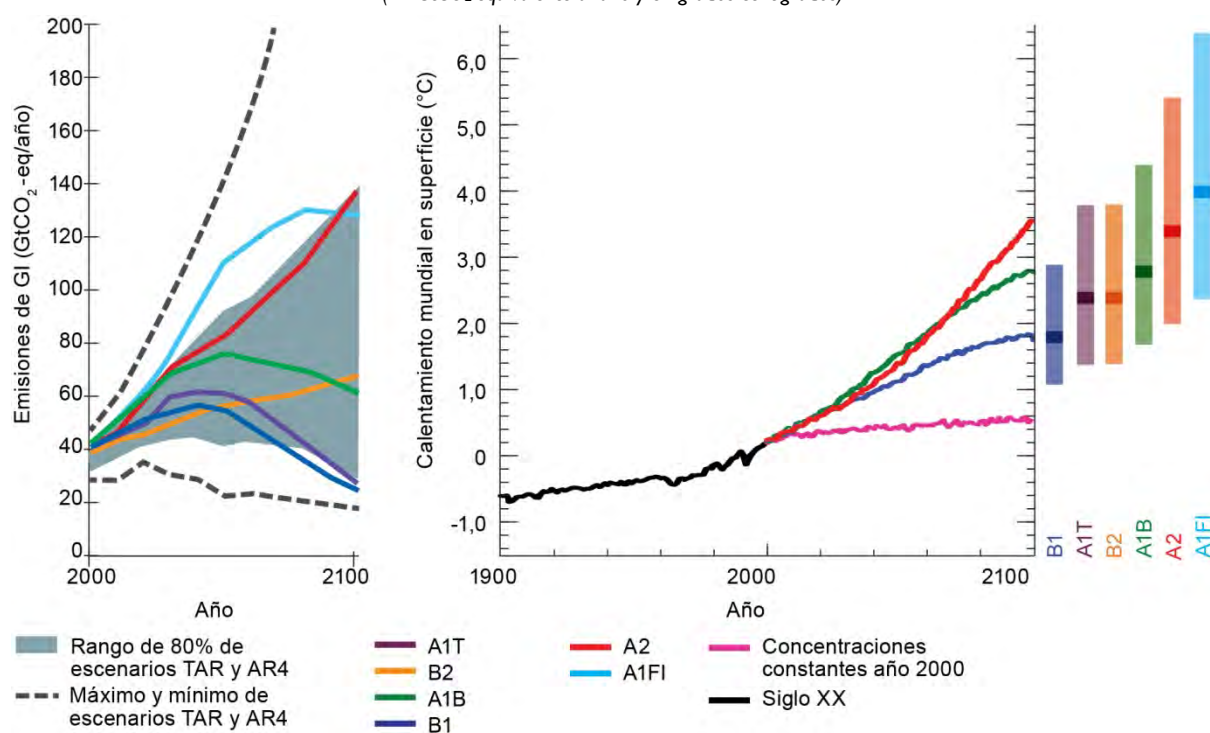
---

<sup>7</sup> Se utilizaron valores históricos mensuales de temperatura media y precipitación proveniente de estaciones meteorológicas y rejillas climáticas de alta resolución disponibles (en KNMI, 2010) con gran variedad de datos climáticos.

los escenarios B2 y A2 generan un rango de emisiones globales entre medias-bajas y las que siguen la tendencia en ausencia de esfuerzos de reducción.

Cada uno de los escenarios de emisiones del IPCC está asociado a diferentes proyecciones de incrementos de temperatura superficial de la tierra para finales del siglo XXI. El escenario de emisiones A2 se encuentra asociado con un incremento probable de temperatura de 3,4 °C para el período 2090–2099 relativo a la temperatura media del período 1980–1999, con un intervalo probable de 2,0 °C – 5,4 °C. El escenario B2 corresponde a un incremento probable de temperatura de 2,4 °C y un intervalo de 1,4 °C – 3,8 °C para el mismo período (véase el gráfico 1.6). Es importante mencionar que estos valores corresponden a proyecciones a nivel global con distintas representaciones a nivel espacial.

**GRÁFICO 1.6**  
**MUNDO: ESCENARIOS DE EMISIONES DE GEI Y PROYECCIONES DE TEMPERATURA ASOCIADAS, 2000-2100**  
(En GtCO<sub>2</sub> equivalente al año y en grados centígrados)



Fuente: IPCC, 2007a.

Además de recomendar los escenarios del IPCC más apropiados, se evaluaron modelos de circulación general, elemento clave en los estudios prospectivos de clima. Las herramientas más sofisticadas para estudiar el clima son los modelos acoplados de circulación general océano-atmósfera, los cuales simulan una amplia gama de los procesos complejos que ocurren en el sistema climático. Si bien estos modelos han evolucionado enormemente durante las últimas décadas, aún existen deficiencias. Por ello es importante evaluar su capacidad para reproducir el clima observado, lo cual permite validar resultados y proyectarlos en diversos horizontes, utilizando los escenarios de emisiones disponibles.

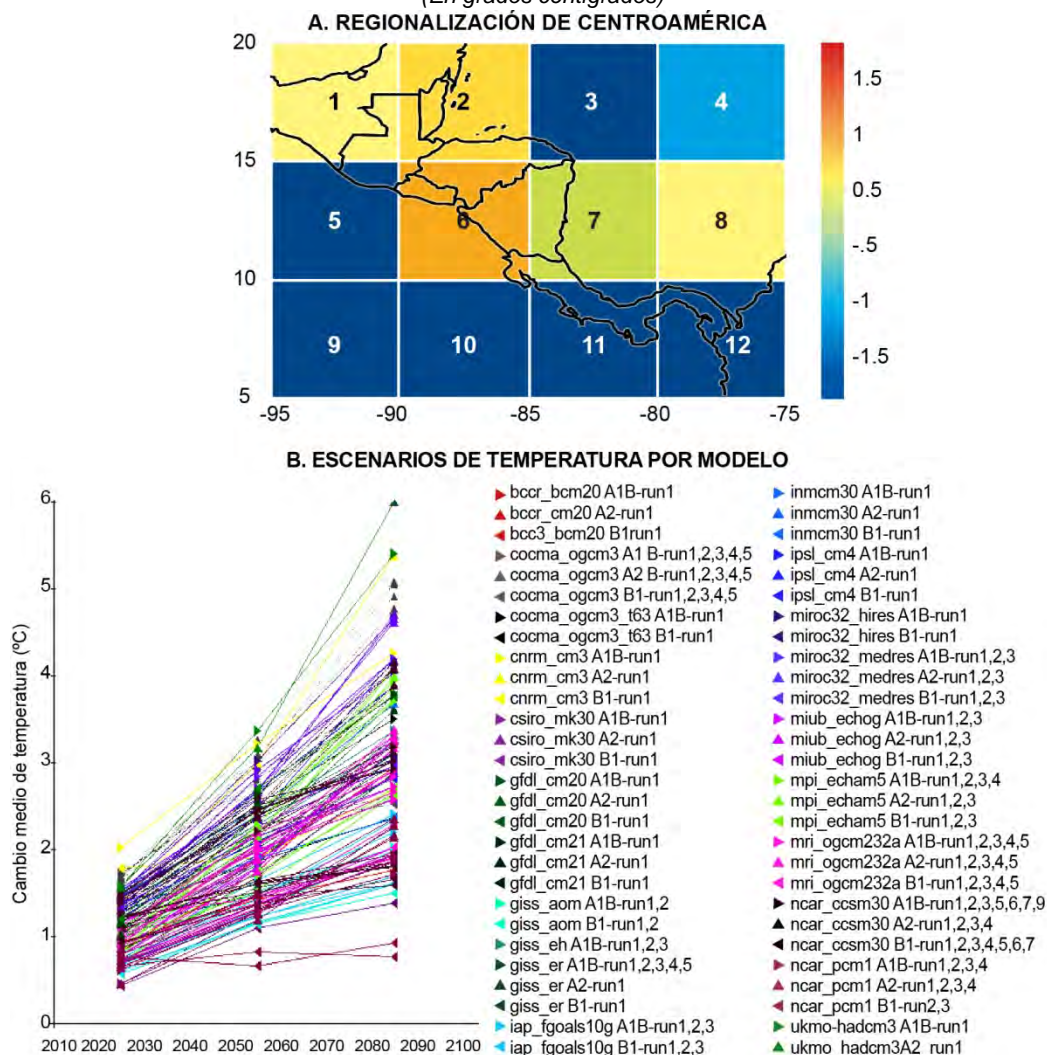
Para seleccionar los modelos de circulación general, se generaron escenarios con 20 de los modelos del Cuarto Reporte del IPCC (véase el gráfico 1.7B). Las salidas de estos modelos, con todos los escenarios

de emisiones, fueron construidas para 12 regiones del istmo mediante el uso de las salidas proporcionadas por el *Pacific Climate Impacts Consortium* de Canadá (UVIC, 2010) (véase el gráfico 1.7A). Esta base de datos contiene anomalías de temperatura superficial del aire sobre los continentes con una resolución espacial de  $5^\circ \times 5^\circ$ . Como climatología base se utilizó el período 1961-1990, el cual es el período con mayor cobertura global de estaciones meteorológicas. Si bien la resolución espacial de esta base de datos es baja, es posible identificar las tendencias de temperatura asociadas con el cambio climático inducido por las actividades humanas.

El propósito de generar estos resultados fue proporcionar una estimación del rango de incertidumbre en los escenarios de cambio climático y que no se perdiera información para la estimación de impactos y la toma de decisiones. Una vez que se obtuvo un rango de posibles cambios en las variables climáticas para distintos horizontes de tiempo, y debido a que la mayor parte de las metodologías disponibles para la estimación de impacto todavía no son capaces de manejar la incertidumbre, se aplicó una serie de criterios para seleccionar los modelos, asegurando que el rango de posibles cambios se mantuviera bien representado.

**GRÁFICO 1.7**  
**CENTROAMÉRICA: PROYECCIONES CLIMÁTICAS**

(En grados centígrados)



Fuentes: A) Elaboración propia.

B) Elaboración propia utilizando la *Regional Analysis Tool* del *Pacific Climate Consortium* (UVic, 2010).

Primero se seleccionaron los modelos capaces de reproducir mejor el clima observado (IPCC, 2007e). Los estadísticos utilizados para evaluar el desempeño de los modelos para reproducir el clima observado (a partir del MAGICC/SCENGEN 5.3), tanto a nivel global como para la región Centroamericana, son: correlación de patrones ( $r$ ), la raíz del error cuadrático medio (RMSE), sesgo y la raíz del error cuadrático medio corregida por sesgo (RMSE-corr)<sup>8</sup> (Wigley, 2008). Estos criterios no garantizan que un modelo que reproduzca adecuadamente el clima actual logre reproducir el clima futuro bajo condiciones de cambio climático, por lo que la selección no debe ser considerada definitiva. Un criterio adicional considerado es la resolución espacial de los diferentes modelos y la disponibilidad de corridas para distintos escenarios de emisiones. Además, los expertos del CCA reportaron considerar los siguientes criterios establecidos por el IPCC:

- Consistencia a nivel regional con las proyecciones globales;
- Plausibilidad física y realismo;
- Información apropiada para las evaluaciones de impactos (en resolución, horizonte y variables);
- Representatividad del rango potencial de cambio climático regional;
- Actualidad de las simulaciones (uso de los experimentos numéricos más recientes);
- Resolución espacial (la más alta resolución es generalmente la de la más reciente generación de modelos);
- Validez (que reproduzcan en lo posible el clima observado);
- Representatividad de los resultados (seleccionar salidas de modelos que den un rango representativo de los posibles cambios futuros);
- Comparabilidad con estudios anteriores;
- Utilidad para los estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación.

A cada uno de los modelos con mejor desempeño se le asignó un punto y a cada uno de los modelos con peor desempeño un -1. El cuadro 1.4 muestra la clasificación de acuerdo al puntaje general de los modelos.

**CUADRO 1.4.**  
**PUNTAJE Y DESEMPEÑO GENERAL DE LOS MODELOS**

Modelo	Puntaje total	Clasificación
MPIECH-5	8	1
MRI-232A	8	1
MIROC-HI	7	2
CCSM-30	6	3
ECHO-G	6	3
UKHAD CM3	5	4
GFDLCM21	2	5
MIROCMED	1	6
UKHAD GEM	1	6
CNRM-CM3	0	7
GISS-EH	-1	8

(Continúa)

<sup>8</sup> Todos estos estadísticos fueron ponderados por la función coseno para tomar en cuenta el cambio en el área por cuadro en la rejilla dependiendo de la latitud.



(Continuación Cuadro 1.4)

Modelo	Puntaje total	Clasificación
GISS-ER	-2	9
CSIRO-30	-3	10
IPSL_CM4	-3	10
BCCRBCM2	-4	11
NCARPCM1	-4	11
GFDLCM20	-5	12
CCCMA-31	-7	13
INMCM-30	-7	13
FGOALSIG	-8	14

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta el criterio de representatividad sugerido por el TGICA-IPCC, se escogieron cuatro modelos capaces de representar el rango de incertidumbre, es decir, que tuvieran un rango en posibles aumentos de temperatura y, más importante, que proporcionaran incrementos y reducciones de precipitación. De esta manera, se recomendó usar los modelos ECHAM5, HADGEM1, GFDL CM2.0, y MIROC32-HIRES, del Cuarto Reporte del IPCC (Conde, 2009). En el transcurso del proyecto se tuvo que recurrir a otros modelos complementarios. Se utilizó el modelo MIROC32-MEDRES de mediana resolución porque contiene datos para el escenario A2, los cuales no están disponibles para el MIROC32-HIRES. Del Tercer Reporte del IPCC (TAR) se utilizaron los modelos ECHAM4, HADCM3 y GFDL R30 para completar datos para el escenario B2.

## METODOLOGÍA

El primer paso fue la construcción de la climatología histórica observada en la región, la cual constituye el escenario base sobre el cual se pueden cuantificar las variaciones, tanto en precipitación como en temperatura, asociadas al cambio climático bajo diversos escenarios de emisiones. En la actualidad hay disponibles varias climatologías interpoladas en rejillas con diversas resoluciones espaciales. A continuación se describen las diferentes climatologías históricas consideradas en este proyecto, y que constituyen la base para las proyecciones de clima:

- CRU TS 3.0: Se preparó una climatología para Centroamérica utilizando la base CRU TS 3.0, disponible en la página web del *Climatic Research Unit* (CRU, por sus siglas en inglés) de la Universidad de *East Anglia*. Ésta consiste en rejillas de valores mensuales de algunas variables climáticas con una resolución de 30 minutos de arco, cubriendo el período 1901-2006. En este proyecto se utilizaron la temperatura, el rango diurno de temperatura y la precipitación. También se consideró la base de datos denominada CRU TS 2.1 (UEA, 2010) que consiste en un arreglo de 1224 rejillas con valores mensuales observados de algunas variables climáticas durante el período 1901-2002. Estos datos cubren las porciones terrestres del globo con una resolución espacial de 0,5° y representan una actualización a la base CRU TS 2.0 (T. D. Mitchell y P. D. Jones, 2005). La base CRU TS 3.0 es una actualización de la base CRU TS 2.0, la cual es muy utilizada por la comunidad internacional.
- WorldClim: Se utilizó la climatología de WorldClim (Hijmans y otros, 2005), que consiste en una base de datos climáticos de un gran número de estaciones meteorológicas diseminadas irregularmente sobre el planeta, abarcando primordialmente el período 1950-2000. Los autores interpolan estos datos con un algoritmo de “splines”, usando latitud, longitud y elevación como variables independientes y crearon superficies climáticas



globales. Estas superficies climáticas tienen una resolución espacial máxima de 30 segundos de arco. Las variables consideradas son temperaturas media, máxima y mínima, así como precipitación, todas con una frecuencia mensual, abarcando el período 1950-2000 (Hijmans y otros 2010). De las dos climatologías de WorldClim consideradas en este proyecto, una es de muy alta resolución (30 segundos de arco) y la otra de alta resolución (10 minutos de arco).

Para contar con valores climáticos por país y relacionarlos con otras variables económicas y sociales, se agruparon los valores de cada celda de las rejillas climáticas de la base CRU TS3.0, comprendidos en los límites territoriales de cada país, y luego se calculó el promedio, considerando el área de cada celda y el área total de cada país. En los casos de celdas comprendidas entre dos países, su valor fue usado para calcular el promedio de ambos países. Las series por país abarcan el período enero 1901–diciembre 2006. Las variables consideradas fueron precipitación, temperatura media, mínima y máxima.

Utilizando las coordenadas geográficas de los municipios de Centroamérica se obtuvieron los valores climatológicos mensuales de temperatura media, máxima y mínima, así como de precipitación para cada municipio. Para esto se utilizó la base de datos WorldClim con su máxima resolución de 30 segundos de arco. La orografía es un factor muy importante que las simulaciones numéricas no toman en cuenta, pero la climatología de alta resolución de la base WorldClim sí lo hace. Una vez generada una matriz con la climatología para cada variable se obtuvieron los índices de la celda de la matriz más cercana a las coordenadas de cada municipio. Para cada una de las celdas se calculó la media del cuadrado de 3 x 3 celdas a su alrededor. El valor así obtenido se tomó como representativo del municipio en cuestión.

## ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Utilizando los escenarios y los modelos de circulación general recomendados por los expertos del CCA se prepararon los escenarios futuros de temperatura y precipitación a nivel de su rejilla original, de país y de municipio.

Los datos de las proyecciones climáticas reportadas en el AR4 y TAR del IPCC para los escenarios y modelos recomendados fueron obtenidos (DKRZ, 2010) utilizando las bases de la rejilla 30' x 30' para la región, que es la misma característica de la climatología base (Martínez, 2011). Aunque se dio prioridad a los datos para los escenarios A2 y B2, también se generaron datos para A1B y B1. En algunos casos los hubo disponibles no solo para precipitación y temperatura media, sino para temperatura máxima y mínima.

Las proyecciones a nivel de país se generaron a partir de esta rejilla 30' x 30' con el mismo procedimiento aplicado a la climatología histórica, es decir, agrupando celdas y calculando un valor representativo del país. La única diferencia es que la resolución espacial de los modelos de circulación general (100 a 200 km) utilizados para obtener las proyecciones es menor a la resolución de la base CRU TS3.0 (aproximadamente 50 km). Por esta razón, primero se interpolaron los datos provenientes de los modelos en una rejilla con la misma resolución que la base CRU TS 3.0, para luego agruparlos por país (Martínez, 2011). Para dicha interpolación se utilizó el algoritmo “splines” porque las series así generadas tienen un error cuadrático menor que las generadas por interpolación lineal.

Para hacer estimaciones regionales del cambio climático a partir de los cuatro modelos de circulación general recomendados en este estudio, lo más simple es interpolar los resultados de estos modelos con escalas espaciales más pequeñas. Así que una manera muy simple de proceder es sumar la anomalía interpolada de los modelos a la climatología histórica de alta resolución del CRU TS 3.0. Por anomalía se entiende la diferencia entre la proyección futura del modelo en un determinado escenario de emisiones y la corrida histórica simulada del mismo modelo. Si la climatología simulada tiene un sesgo (por ejemplo, que las temperaturas sean más altas que las observadas), el sesgo seguirá presente al estimar la climatología proyectada por el modelo. El sesgo se elimina al calcular la diferencia entre la climatología proyectada y la histórica simulada (la anomalía). Así se obtuvo una climatología histórica correspondiente a la base del CRU TS 3.0 más las proyecciones correspondientes al año 2100 sin el sesgo del modelo. Las bases de datos generadas a nivel de país incluyeron los escenarios A2, B2, A1B y B1 con los variables de temperatura media y precipitación.

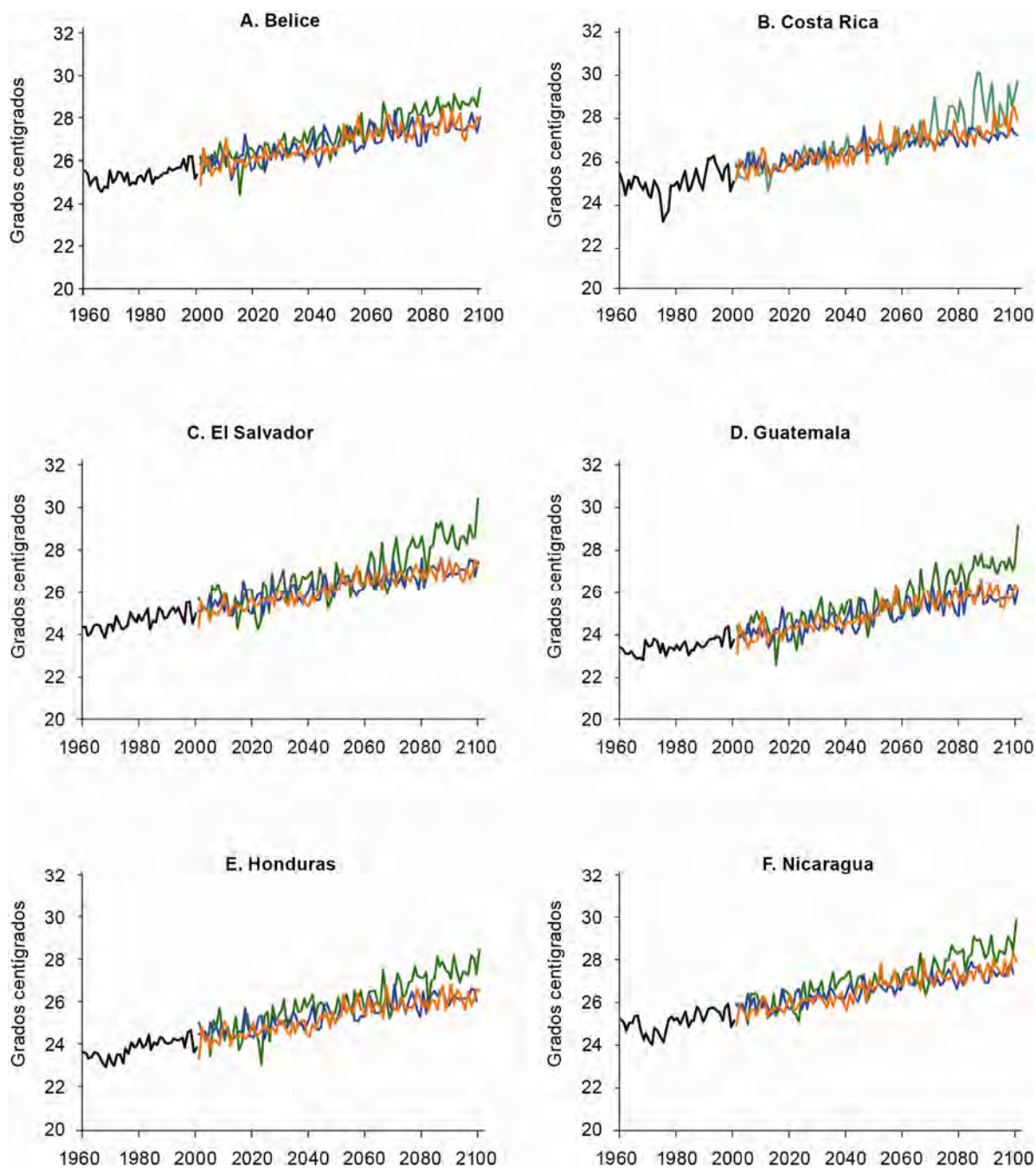
Debido a la necesidad de realizar análisis a escalas menores para los estudios de agricultura y biodiversidad, entre otros, se prepararon escenarios futuros de temperatura y precipitación a escala municipal. Para ello se procedió de la manera anteriormente descrita, pero con una climatología histórica municipal según coordenadas geográficas de los municipios. Igual que en los escenarios futuros a nivel de país, a nivel municipal se utilizaron “splines” para las interpolaciones. A esta escala, la orografía se vuelve un factor aun más importante que no es tomado en cuenta en ninguna simulación numérica. Para considerar la influencia de la orografía en lo posible, se recomendó utilizar la climatología de alta resolución de la base WorldClim ya descrita. Así, la anomalía interpolada de los modelos se sumó a la climatología de WorldClim de alta resolución. Al final de este proceso se obtuvieron proyecciones de temperatura media, máxima, mínima y precipitación de acuerdo a la información mensual disponible para cada modelo de circulación general en los horizontes 2016-2025 (para el corte 2020), 2026-2035 (para el corte 2030), 2046-2055 (corte 2050), 2066-2075 (corte 2070) y 2091-2100 (corte 2095) (Martínez, 2011). La lista de las bases de datos utilizadas en el proyecto está disponible en el anexo de este capítulo, con detalles de escenarios, modelos, escalas geográficas y variables disponibles.

Para los ejercicios que a continuación se presentan se utilizaron los escenarios generados a nivel de país según los escenarios B2 y A2 generados con los modelos HADCM3/HADGEM1, GFDL R30/GFDL CM2.0 y ECHAM4/ECHAM5. Se tomó como referencia la climatología del período 1980–2000, generada a partir de la base de datos del CRU TS 3.0 y sumándole la anomalía de los tres modelos al año 2100. Para los ejercicios de valorización económica, los equipos sectoriales utilizaron un promedio de los tres modelos a nivel país, con excepción de los estudios de biodiversidad y agricultura (modelo ricardiano), que usaron la escala municipal. Los resultados de la temperatura media anual bajo el escenario B2 para los países se presentan en el gráfico 1.8 y el cuadro 1.5, y los resultados para el escenario A2 en el gráfico 1.9 y el cuadro 1.6.

Las principales tendencias indican que en el escenario B2 al año 2050, considerando los tres modelos, los países de Centroamérica podrían experimentar un aumento de la temperatura promedio en un rango de 1,1 a 1,6 °C y un promedio para la región entre 1,2 y 1,4 °C, respecto a lo observado entre 1980 y 2000. No se observa gran dispersión entre los tres modelos. Al 2100, con el mismo escenario B2 y los mismos modelos, la dispersión entre los países aumenta, y la anomalía de temperatura media anual podría ubicarse en un rango de 1,8 °C a 3,7 °C y un promedio regional de entre 2,1°C y 3,3 °C. En el escenario B2, el modelo HADCM3 reporta niveles de temperatura más altos que los otros dos modelos, señalando que al 2100 Guatemala y El Salvador registrarían el

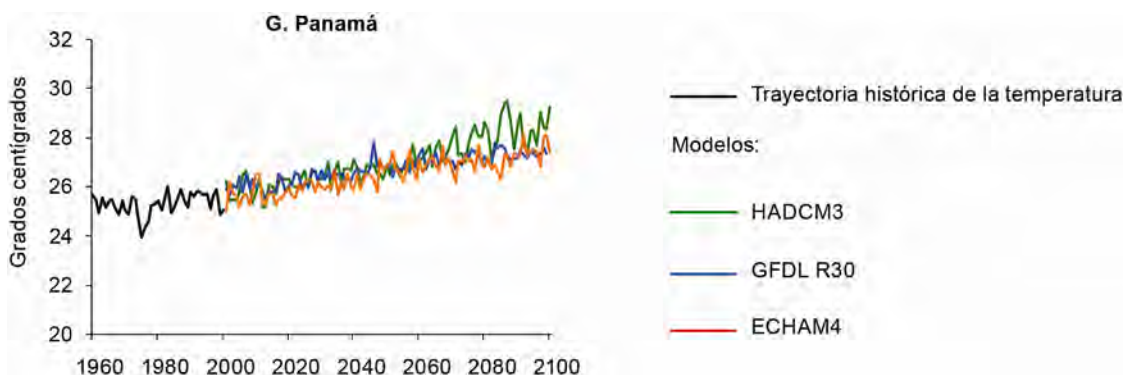
mayor aumento de temperatura media anual con 3,7 °C. Los modelos ECHAM4 y GFDLR30 presentan valores de incremento de la temperatura media más bajos al 2100. Panamá podría ser menos afectado con un aumento de 1,8 °C, según el GFDL R30.

**GRÁFICO I.8**  
**CENTROAMÉRICA: TEMPERATURA MEDIA ANUAL, ESCENARIO B2, 1960 A 2100**  
(En grados centígrados)



(Continúa)

(Continuación Gráfico 1.8)

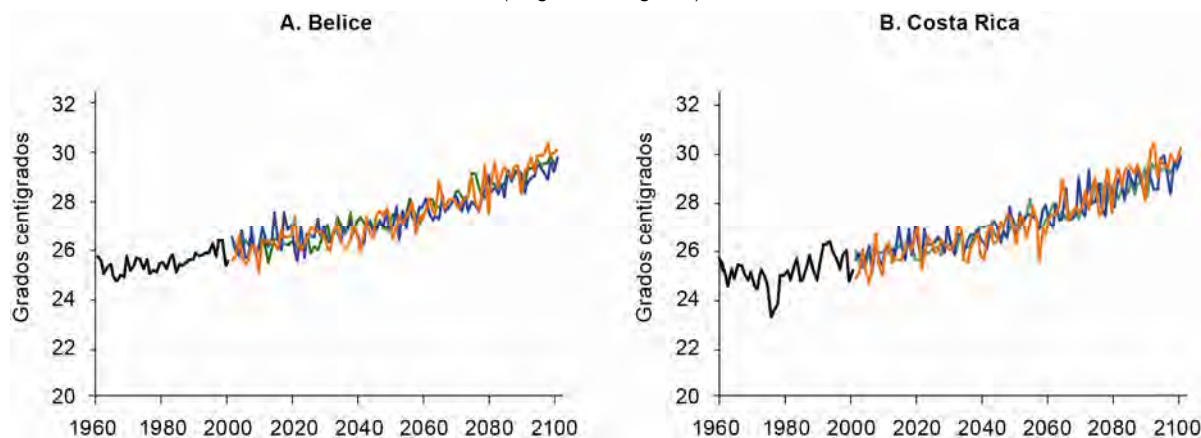


Nota: Para B2 los modelos utilizados para generar las anomalías fueron: HADCM3, GFDL R30 y ECHAM4. La climatología histórica corresponde a datos generados a partir del CRU TS 3.0.

Fuente: Elaboración propia.

Bajo el escenario A2, considerando los tres modelos, en el año 2050 la región presentaría un aumento de la temperatura media anual entre 1,4 °C y 2,3 °C dependiendo del país, y un promedio regional entre 1,6 °C y 1,8 °C respecto a la temperatura del período 1980-2000. De mantenerse esta tendencia al 2100, la anomalía de temperatura podría ubicarse en un rango de 3,4 °C a 5,2 °C dependiendo del país y un promedio regional entre 3,7 °C a 4,6 °C. En el escenario A2, los modelos HADGEM1 y ECHAM5 reportan resultados similares. Las temperaturas más altas se registrarían en El Salvador y Guatemala, con una anomalía superior a 5 °C en 2100. El modelo GFDL CM2.0 registra anomalías de temperatura media más bajas, aunque superiores a los resultados más altos del escenario B2. En general, los resultados en temperatura son consistentes con investigaciones recientes, indicando que la temperatura media tiende a incrementarse hasta un nivel de 5 °C en el escenario A2.

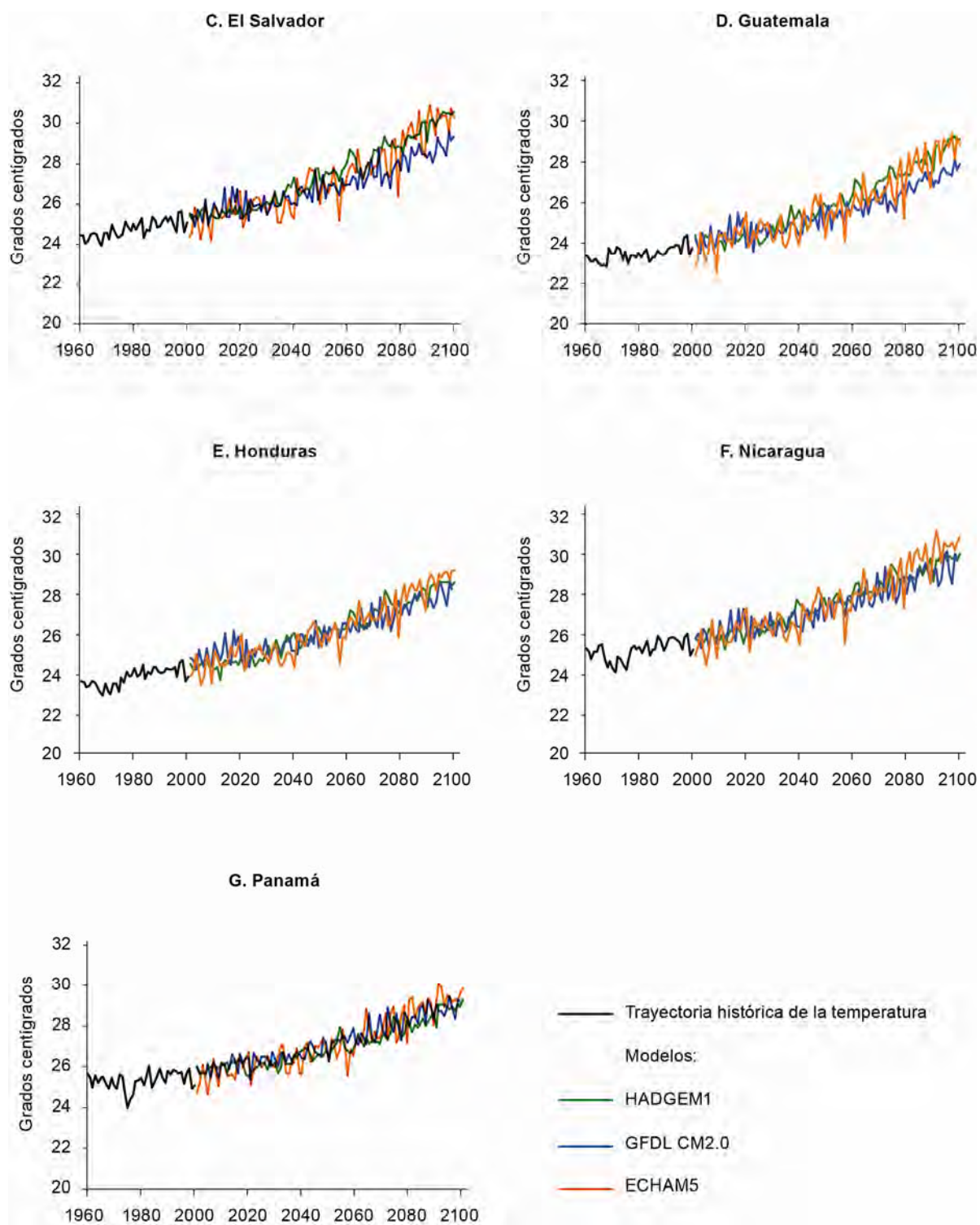
**GRÁFICO 1.9**  
**CENTROAMÉRICA: TEMPERATURA MEDIA ANUAL, ESCENARIO A2, 1960 A 2100**  
 (En grados centígrados)



(Continúa)



(Continuación Cuadro 1.9)



Nota: Para A2 los modelos utilizados para generar las anomalías fueron: HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5. La climatología histórica corresponde a datos generados a partir del CRU TS 3.0.

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 1.5**  
**CENTROAMÉRICA: CAMBIO DE TEMPERATURA MEDIA ESCENARIO B2, 1980-2000 A 2100**  
*(En grados centígrados)*

<b>MODELO HADCM3</b>								
<b>Año</b>	<b>Costa Rica</b>	<b>Belice</b>	<b>El Salvador</b>	<b>Guatemala</b>	<b>Honduras</b>	<b>Nicaragua</b>	<b>Panamá</b>	<b>Centroamérica</b>
2020	0,6	0,6	0,5	0,6	0,4	0,6	0,7	0,6
2030	1,0	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0	1,2
2050	1,2	1,4	1,5	1,5	1,5	1,4	1,2	1,4
2070	2,1	2,4	2,4	2,6	2,3	2,0	2,1	2,2
2100	3,1	3,1	3,7	3,7	3,4	3,1	2,8	3,3
<b>MODELO GFDL R30</b>								
<b>Año</b>	<b>Costa Rica</b>	<b>Belice</b>	<b>El Salvador</b>	<b>Guatemala</b>	<b>Honduras</b>	<b>Nicaragua</b>	<b>Panamá</b>	<b>Centroamérica</b>
2020	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7
2030	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
2050	1,3	1,5	1,5	1,6	1,4	1,3	1,4	1,4
2070	1,6	1,9	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,7
2100	1,9	2,1	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	2,1
<b>MODELO ECHAM4</b>								
<b>Año</b>	<b>Costa Rica</b>	<b>Belice</b>	<b>El Salvador</b>	<b>Guatemala</b>	<b>Honduras</b>	<b>Nicaragua</b>	<b>Panamá</b>	<b>Centroamérica</b>
2020	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,4
2030	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6
2050	1,2	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,1	1,2
2070	1,6	1,7	1,7	1,9	1,7	1,7	1,4	1,7
2100	2,2	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,0	2,1

Nota: Para la anomalía del modelo HADCM3 se tomó la de 2099 ya que el modelo no tiene pronóstico para el año 2100. Para calcular las anomalías se tomó el clima del año señalado respecto a la climatología 1980-2000 generada a partir del modelo referido.

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 1.6**  
**CENTROAMÉRICA: CAMBIO DE TEMPERATURA MEDIA ESCENARIO A2, 1980-2000 A 2100**  
*(En grados centígrados)*

<b>MODELO HADGEM1</b>								
<b>Año</b>	<b>Costa Rica</b>	<b>Belice</b>	<b>El Salvador</b>	<b>Guatemala</b>	<b>Honduras</b>	<b>Nicaragua</b>	<b>Panamá</b>	<b>Centroamérica</b>
2020	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,6	0,5	0,5
2030	0,7	0,8	1,0	1,0	0,8	0,9	0,6	0,8
2050	1,6	1,6	2,3	2,2	1,8	2,0	1,4	1,8
2070	2,3	2,5	3,3	3,4	2,8	2,9	2,0	2,7
2100	3,8	3,7	5,2	5,2	4,2	4,2	3,4	4,2
<b>MODELO GFDL CM2.0</b>								
<b>Año</b>	<b>Costa Rica</b>	<b>Belice</b>	<b>El Salvador</b>	<b>Guatemala</b>	<b>Honduras</b>	<b>Nicaragua</b>	<b>Panamá</b>	<b>Centroamérica</b>
2020	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8
2030	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9
2050	1,6	1,4	1,7	1,7	1,8	1,7	1,5	1,6
2070	2,6	2,2	2,5	2,5	2,7	2,6	2,5	2,5
2100	3,7	3,4	3,8	3,8	3,8	3,8	3,4	3,7
<b>MODELO ECHAM5</b>								
<b>Año</b>	<b>Costa Rica</b>	<b>Belice</b>	<b>El Salvador</b>	<b>Guatemala</b>	<b>Honduras</b>	<b>Nicaragua</b>	<b>Panamá</b>	<b>Centroamérica</b>
2020	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,6	0,8
2030	0,7	0,8	0,9	1,0	0,8	0,9	0,8	0,8
2050	1,6	1,6	2,1	2,1	1,9	2,0	1,5	1,8
2070	2,4	2,4	2,9	2,9	2,7	2,7	2,4	2,6
2100	4,2	4,0	5,2	5,2	4,6	4,9	4,0	4,6

Nota: Para calcular las anomalías se tomó el clima del año señalado respecto a la climatología 1980-2000 generada a partir del modelo referido.

Fuente: Elaboración propia.

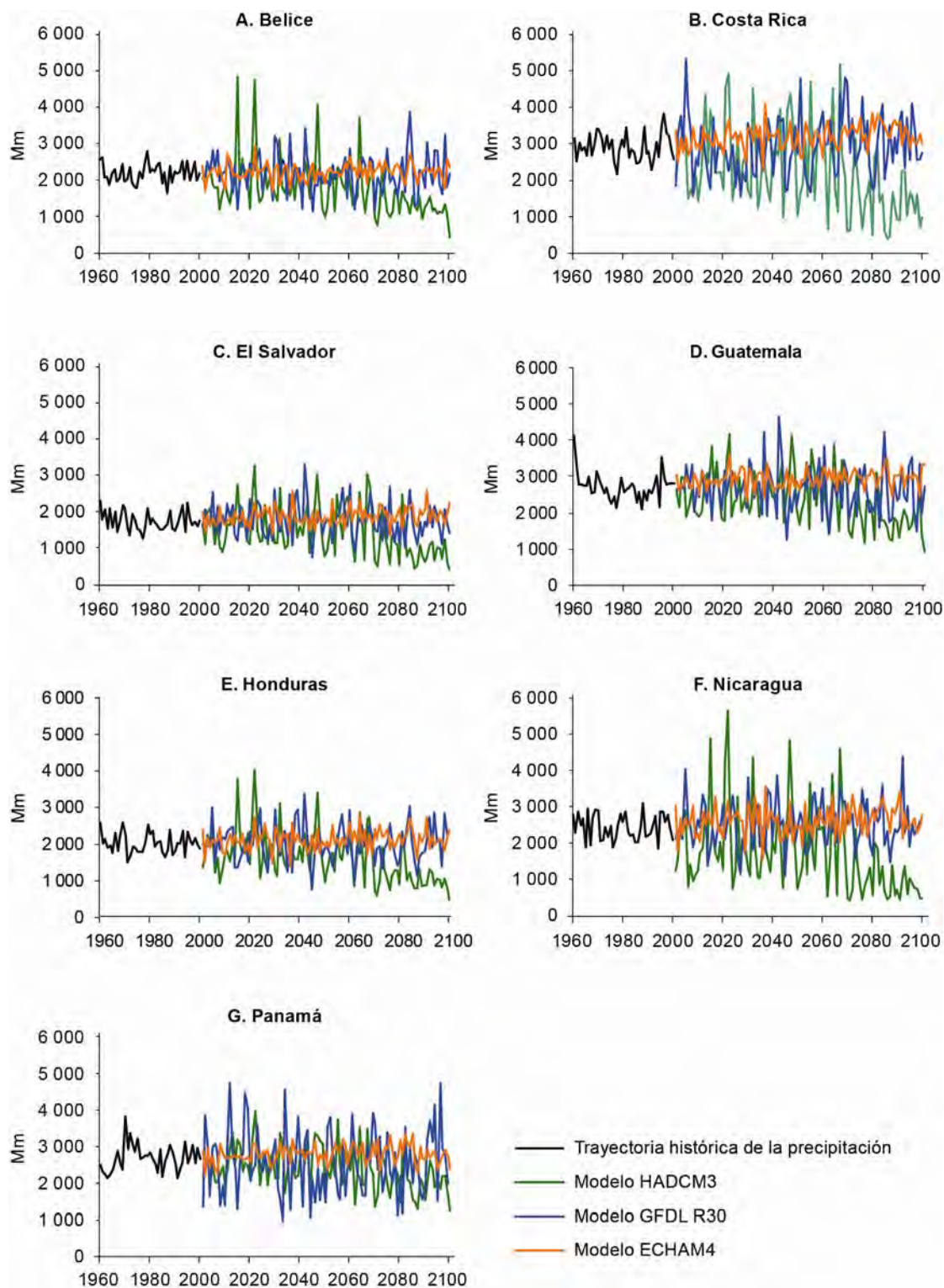


Los resultados de los escenarios de precipitación bajo el escenario B2 se observan en el gráfico 1.10 y en el cuadro 1.7, y los resultados bajo el escenario A2 se presentan en el gráfico 1.11 y en el cuadro 1.8. Se observan las siguientes tendencias:

- En el escenario B2 al año 2050, los modelos HADCM3 y GFDLR30 indican una disminución en los niveles de precipitación entre 0% y 16% por país respecto al valor observado en el período 1980-2000. El modelo ECHAM4 reporta un ligero aumento en los niveles de precipitación entre 0% y 9% en todos los países menos en Belice, que podría experimentar una reducción de 1,0%. Los promedios regionales de estos tres modelos son -7%, -10% y 4%, respectivamente.
- Los resultados al año 2100 con el escenario B2 y el modelo HADCM3 registran una mayor contracción en los niveles de precipitación media anual, entre 24% y 67% y un promedio regional de 45%. Para el período entre los años 2050 y 2100, el modelo GFDL R30 indica una reversión de la tendencia negativa al final del período y a 2100 la precipitación hubiera aumentado en casi todos los países con un rango de -2% a 13% y un promedio regional de 6%. Mientras tanto, el modelo ECHAM4 sigue indicando una tendencia ascendente de la precipitación con aumentos entre 1,0% y 14% y promedio regional de 8%.
- En el escenario A2, al año 2050, el modelo HADGEM1 indica una disminución de la precipitación de 24% a 47%, dependiendo del país, y un promedio regional de 36%. ECHAM5 señala reducciones del orden de 2% a 19%, salvo en Panamá con un aumento de 4%, y un promedio regional de -9%. Finalmente, el modelo GFDLCM2.0 indica un rango de cambios, tanto reducciones como aumentos, dependiendo del país, entre -4% y 11% con un promedio regional de 2,6%.
- Al 2100 en el escenario A2, los tres modelos señalan disminuciones de precipitación media anual de diferentes magnitudes en casi todos los países. Las mayores magnitudes son las de HADGEM1, en tanto que GFDLCM2.0 señala un menor impacto. El modelo HADGEM1 indica una disminución de la precipitación de 41% a 72%, dependiendo del país, y un promedio regional de 62%. ECHAM5 señala reducciones del orden de 8% a 32%, salvo en Panamá con 0%, y un promedio regional de 17%. Finalmente, el modelo GFDL CM2.0 indica un rango de cambios, tanto reducciones como aumentos, dependiendo del país, entre -16% y 4% con un promedio regional de -7%.
- Los escenarios de precipitación arrojan mayor incertidumbre y variabilidad. En general, los resultados de los modelos HADGEM1 y HADCM3 sugieren una reducción mayor en los escenarios A2 y B2 en todos los países, aunque Panamá tiende a ser menos afectado. Los modelos GFDLR30/GFDLCM2.0 y ECHAM4/ECHAM5 indican reducciones menores, relativa estabilidad o aumentos menores, particularmente con el B2 y para Belice, Panamá y Costa Rica.
- La tendencia a reducciones en precipitación es mayor en el escenario A2 que en el B2.

Estos resultados reflejan el alto nivel de variabilidad ya inherente a los patrones de precipitación, el cual probablemente aumentará con el cambio climático en períodos intra-anales e interanuales, y un alto nivel de incertidumbre en el modelaje de la precipitación y en sus escenarios futuros. Se observa que la magnitud de los aumentos proyectada por los modelos es menor en relación con las posibles reducciones, algunas muy serias. Esta situación genera una alta vulnerabilidad y sugiere que el manejo del recurso hídrico será prioritario en las respuestas al cambio climático, considerando que la adaptación a los aumentos de temperatura basados en mayor uso del agua estará condicionada por la incertidumbre sobre los patrones futuros de lluvias.

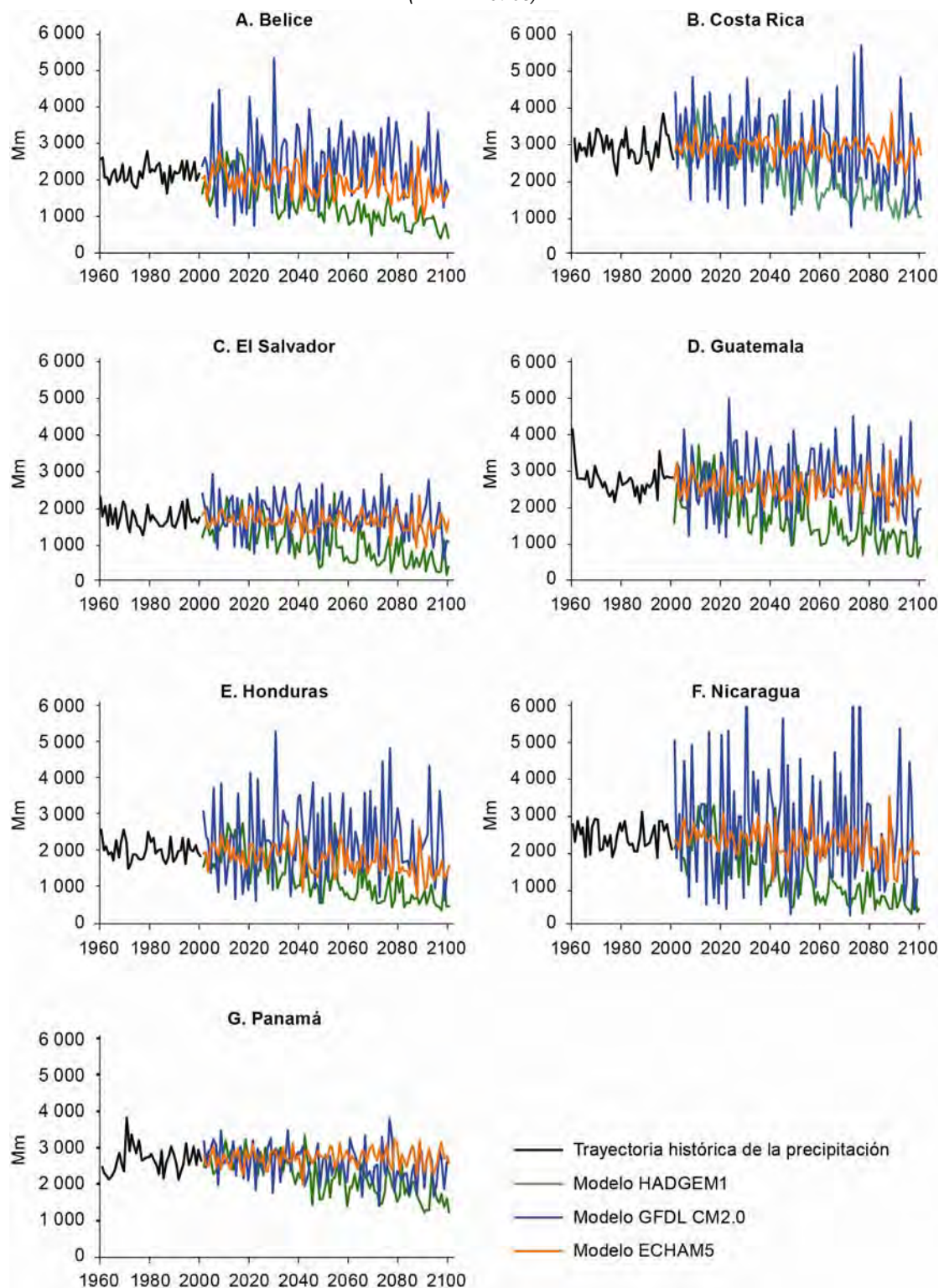
**GRÁFICO 1.10**  
**CENTROAMÉRICA: PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANUAL, ESCENARIO B2, 1960 A 2100**  
 (En milímetros)



Nota: Para B2 los modelos utilizados para generar las anomalías fueron: HADCM3, GFDLR30 y ECHAM4. La climatología histórica corresponde a datos generados a partir del CRU TS 3.0.

Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 1.11**  
**CENTROAMÉRICA: PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANUAL, ESCENARIO A2, 1960 A 2100**  
 (En milímetros)



Nota: Para A2 los modelos utilizados para generar las anomalías fueron: HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5. La climatología histórica corresponde a datos generados a partir del CRU TS 3.0.

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 1.7**  
**CENTROAMÉRICA: CAMBIO DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL ESCENARIO B2, 1980-2000 A 2100**  
*(En porcentaje)*

MODELO HADCM3								
Año	Costa Rica	Belice	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
2020	-0,1	13,5	6,4	3,6	13,2	6,9	4,2	6,8
2030	-19,2	-11,9	-13,5	-9,2	-13,3	-23,0	-5,7	-13,7
2050	-8,5	-10,5	-5,1	-1,6	-8,6	-13,1	-0,3	-6,8
2070	-28,8	-30,7	-10,7	-14,5	-25,0	-33,1	-15,5	-22,6
2100	-51,3	-43,7	-48,8	-31,7	-51,2	-66,6	-23,8	-45,3
MODELO GFDL R30								
Año	Costa Rica	Belice	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
2020	-8,9	-2,1	4,7	0,6	1,2	2,1	4,5	0,3
2030	-14,5	0,4	-6,4	0,5	-7,6	-6,7	-7,0	-5,9
2050	-7,8	-12,3	-8,8	-7,8	-15,6	-9,1	-10,3	-10,2
2070	13,1	-2,0	2,9	-2,6	-2,4	6,5	0,7	2,3
2100	8,7	5,0	1,4	-1,9	8,8	7,3	12,5	6,0
MODELO ECHAM4								
Año	Costa Rica	Belice	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
2020	6,8	-0,4	5,1	5,7	4,1	6,9	4,4	4,6
2030	8,4	-0,3	9,3	6,9	7,5	10,0	4,7	6,7
2050	7,07	-0,85	6,57	9,09	2,65	0,28	3,53	4,0
2070	11,3	1,4	9,1	7,1	7,9	8,1	5,5	7,2
2100	11,4	0,9	14,3	11,9	5,6	7,0	2,6	7,7

Nota: Para la anomalía del HADCM3 se tomó la del año 2099 ya que el modelo no incluye pronóstico para el año 2100. Para calcular las anomalías se tomó el clima del año señalado respecto a la climatología 1980-2000 generada a partir del modelo referido.

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 1.8**  
**CENTROAMÉRICA: CAMBIO DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL ESCENARIO A2, 1980-2000 A 2100**  
*(En porcentaje)*

MODELO HADGEMI								
Año	Costa Rica	Belice	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
2020	0,3	-8,0	-9,8	-9,8	-7,6	-10,5	2,8	-6,1
2030	-2,5	-19,8	-18,1	-17,6	-16,2	-16,0	2,2	-12,6
2050	-33,2	-35,1	-39,3	-31,8	-39,2	-47,3	-24,1	-35,7
2070	-40,1	-55,5	-55,0	-50,4	-57,0	-62,7	-26,1	-49,6
2100	-55,9	-65,6	-69,9	-61,9	-66,8	-71,9	-41,4	-61,9
MODELO GFDL CM2.0								
Año	Costa Rica	Belice	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
2020	2,4	6,2	0,4	4,9	8,2	11,1	-1,1	4,6
2030	12,1	23,2	18,8	17,4	29,3	31,8	1,4	19,2
2050	-2,1	4,7	1,0	1,2	10,6	6,2	-3,8	2,6
2070	-6,9	13,1	7,5	8,2	15,7	11,8	-11,6	5,4
2100	-16,2	4,0	-9,3	-9,2	2,7	-9,1	-11,3	-6,9
MODELO ECHAM5								
Año	Costa Rica	Belice	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
2020	2,6	-8,6	1,4	0,3	-7,2	-2,4	2,9	-1,6
2030	2,0	-3,8	-2,6	-3,8	-0,6	-1,2	2,3	-1,1
2050	-2,1	-15,3	-7,4	-7,6	-18,5	-12,7	4,0	-8,5
2070	2,5	-8,4	0,3	-0,3	-11,0	-2,3	7,9	-1,6
2100	-7,5	-28,9	-14,6	-9,3	-32,0	-23,6	0,1	-16,5

Nota: Para calcular las anomalías se tomó el clima del año señalado respecto a la climatología del período 1980-2000 generada a partir del modelo referido.

Fuente: Elaboración propia.



Para estimar el costo del cambio climático en términos de su impacto en el PIB de la región, considerando la dificultad de calcularlo con los diversos resultados de tres modelos y dos escenarios para todos los sectores analizados, se optó por utilizar un promedio simple de los tres modelos en los escenarios A2 y B2. En el caso de la temperatura media, los modelos muestran tendencias similares en cada escenario. Pero en precipitación ocurre una enorme variabilidad, lo cual también se reporta en otras investigaciones, indicando la gran dificultad de generar escenarios de precipitación en la región. Con estas consideraciones se estimaron las anomalías de temperatura media, que se presentan en el cuadro 1.9 para el escenario B2 y en el cuadro 1.10 para el escenario A2. En el caso de la anomalía de precipitación, los escenarios futuros presentan mayor incertidumbre y variabilidad. Los resultados se presentan en los cuadros 1.11 y 1.12 para los escenarios B2 y A2, respectivamente.

**CUADRO 1.9**  
**CENTROAMÉRICA: CAMBIO DE TEMPERATURA MEDIA, ESCENARIO B2, PROMEDIO**  
**DE LOS TRES MODELOS, 1980-2000 A 2100**  
(En grados centígrados)

País	2020	2030	2050	2070	2100
Costa Rica	0,53	0,83	1,23	1,77	2,40
Belice	0,57	0,90	1,33	2,00	2,40
El Salvador	0,53	0,97	1,40	1,97	2,63
Guatemala	0,57	1,00	1,43	2,10	2,67
Honduras	0,50	0,90	1,40	1,93	2,53
Nicaragua	0,57	0,90	1,37	1,80	2,43
Panamá	0,50	0,80	1,23	1,70	2,20
Centroamérica	0,57	0,90	1,33	1,87	2,50

Nota: Para la anomalía del modelo HADCM3 se tomó la del año 2099 ya que el modelo no incluye pronóstico para el año 2100. Para calcular las anomalías se tomó el clima del año señalado respecto a la climatología del período 1980-2000 generada a partir del modelo referido.

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 1.10**  
**CENTROAMÉRICA: CAMBIO DE TEMPERATURA MEDIA, ESCENARIO A2, PROMEDIO**  
**DE LOS TRES MODELOS, 1980-2000 A 2100**  
(En grados centígrados)

País	2020	2030	2050	2050	2100
Costa Rica	0,63	0,77	1,60	2,43	3,90
Belice	0,70	0,83	1,53	2,37	3,70
El Salvador	0,77	0,93	2,03	2,90	4,73
Guatemala	0,80	1,00	2,00	2,93	4,73
Honduras	0,73	0,87	1,83	2,73	4,20
Nicaragua	0,73	0,87	1,90	2,73	4,30
Panamá	0,63	0,77	1,47	2,30	3,60
Centroamérica	0,70	0,83	1,73	2,60	4,17

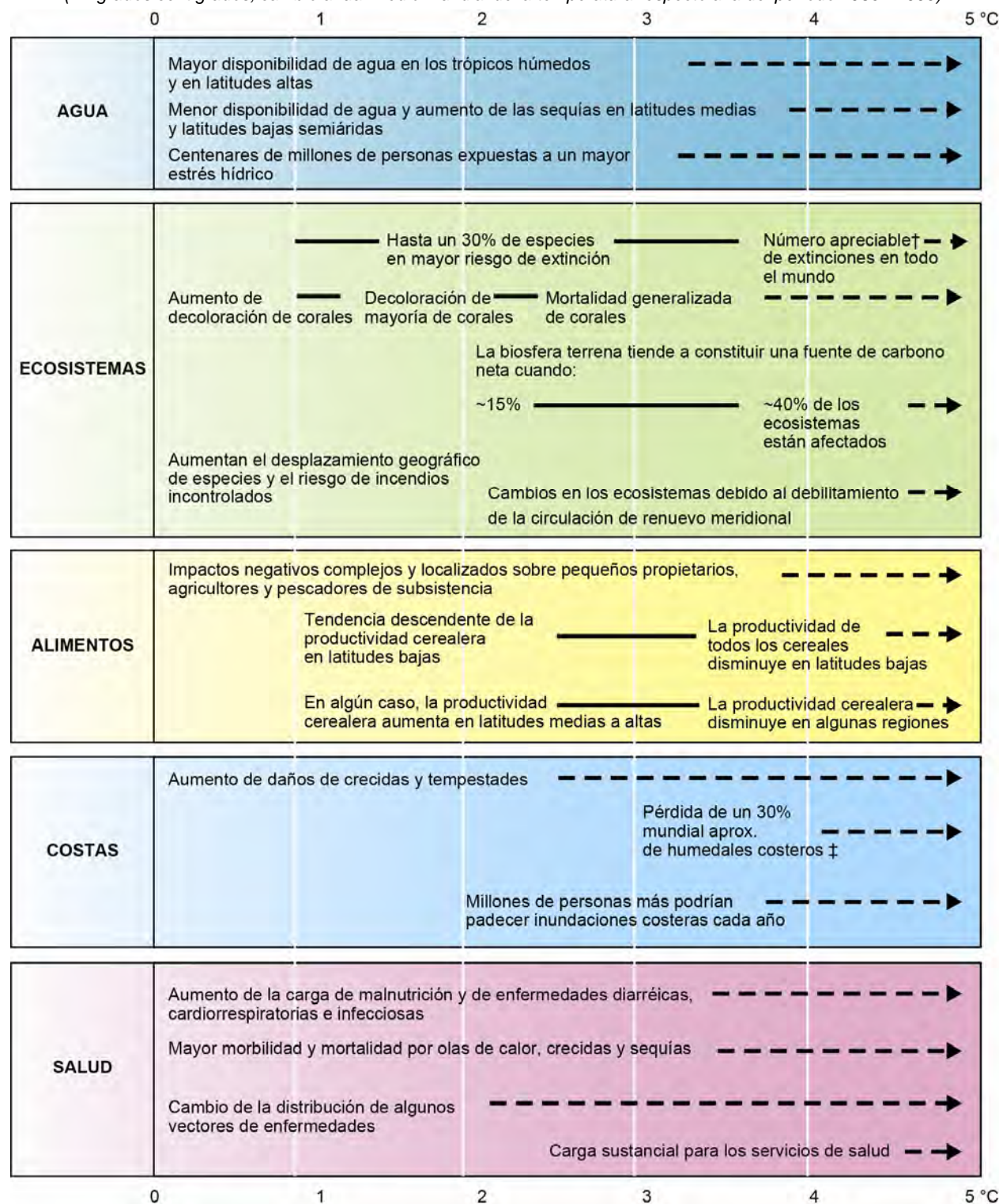
Nota: Para calcular las anomalías se tomó el clima del año señalado respecto a la climatología del período 1980-2000 generada a partir del modelo referido.

Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama 1.1 se puede apreciar el cambio anual medio mundial de la temperatura respecto al período 1980-1999, estimado por el IPCC con una relación de los impactos esperados en diversos ámbitos con diferentes niveles de aumento de temperatura. Para el 2050 Centroamérica podría sufrir los impactos indicados en el rango entre 1,0 °C a 2,0 °C y, para el 2100, a partir de aproximadamente 2,5 °C hasta 5 °C en algunos países.



**DIAGRAMA I.1**  
**IMPACTOS ASOCIADOS CON EL CAMBIO ANUAL MEDIO MUNDIAL DE LA TEMPERATURA**  
*(En grados centígrados, cambio anual medio mundial de la temperatura respecto a la del período 1980 - 1999)*



Notas: † Se entiende por 'apreciable' más de un 40%.

‡ Basado en la tasa promedio de aumento del nivel del mar de 4,2 mm/año entre 2000 y 2080.

Fuente: IPCC, 2007a.

**CUADRO 1.11**  
**CENTROAMÉRICA: CAMBIO DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL, ESCENARIO B2,**  
**PROMEDIO DE LOS TRES MODELOS, 1980-2000 A 2100**  
*(En porcentajes)*

País	2020	2030	2050	2070	2100
Costa Rica	-0,73	-8,43	-3,08	-1,43	-10,40
Belice	3,67	-3,93	-7,88	-10,43	-12,60
El Salvador	5,40	-3,53	-2,44	0,43	-11,03
Guatemala	3,30	-0,60	-0,10	-3,33	-7,23
Honduras	6,17	-4,47	-7,18	-6,50	-12,27
Nicaragua	5,30	-6,57	-7,31	-6,17	-17,43
Panamá	4,37	-2,67	-2,36	-3,10	-2,90
Centroamérica	3,90	-4,30	-4,33	-4,37	-10,53

Nota: Para la anomalía del modelo HADCM3 se tomó la del año 2099 ya que el modelo no incluye pronóstico para el año 2100. Para calcular las anomalías se tomó el clima del año señalado respecto a la climatología 1980-2000 generada a partir del modelo referido.

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 1.12**  
**CENTROAMÉRICA: CAMBIO DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL, ESCENARIO A2, PROMEDIO**  
**DE LOS TRES MODELOS, 1980-2000 A 2100**  
*(En porcentajes)*

País	2020	2030	2050	2070	2100
Costa Rica	1,77	3,87	-12,47	-14,83	-26,53
Belice	-3,47	-0,13	-15,23	-16,93	-30,17
El Salvador	-2,67	-0,63	-15,23	-15,73	-31,27
Guatemala	-1,53	-1,33	-12,73	-14,17	-26,80
Honduras	-2,20	4,17	-15,70	-17,43	-32,03
Nicaragua	-0,60	4,87	-17,93	-17,73	-34,87
Panamá	1,53	1,97	-7,97	-9,93	-17,53
Centroamérica	-1,03	1,83	-13,87	-15,27	-28,43

Nota: Para calcular las anomalías se tomó el clima del año señalado respecto a la climatología del período 1980-2000 generada a partir del modelo referido.

Fuente: Elaboración propia.

## I.6 CONSIDERACIONES FINALES

1. Considerando el promedio de los tres modelos de clima utilizados, se observa que en el escenario B2 el aumento de temperatura previsto para Centroamérica puede ser de 2,2 a 2,7 °C al finalizar el presente siglo con un promedio regional de 2,5 °C. El IPCC estimó con B2 un aumento de la temperatura a nivel global con un margen probable de 1,4 a 3,8 °C y un mejor cálculo de 2,4 °C para el período 2090-2099 relativo al período 1980-1999. Los resultados regionales son compatibles con lo esperado a nivel global.
2. En el escenario A2 el aumento de temperatura esperado al 2100 es mayor, entre 3,6 °C y 4,7 °C, dependiendo del país, y un promedio regional de 4,2 °C, frente al estimado global del

IPCC de un margen probable de 2,0 a 5,4 °C y un mejor cálculo de 3,4 °C al período 2090-2099 relativo al período 1980-1999. Los escenarios de la región se ubican por arriba de los esperados a nivel global. En el escenario A2, la mayoría de los países registraría aumentos considerables en de temperatura media anual hasta finales del siglo, siendo Guatemala y El Salvador los casos más graves.

3. Los escenarios de temperatura para Centroamérica se pueden relacionar con los impactos estimados por el IPCC ilustrados en el diagrama 1.1. Para el 2050, Centroamérica podría sufrir los impactos indicados en el rango entre 1,0 a 2,0 °C y, para el 2100, a partir de aproximadamente 2,5 °C hasta 5 °C en algunos países.
4. En el caso de la precipitación los modelos arrojan mayor incertidumbre. Tomando el promedio de estos modelos, el escenario B2 al 2050 indica una reducción del 4% como promedio regional y un rango entre 0% y 8%, dependiendo del país. Al 2100 la reducción regional sería de 11% y el rango oscilaría entre 3% y 17%.
5. El promedio de los tres modelos bajo el escenario A2 al año 2050 indica una reducción del 14% como promedio regional y un rango entre 8% y 18%, dependiendo del país. Al 2100, la reducción regional sería de 28% y el rango oscilaría entre 18% y 35%. En el modelaje de la precipitación se presenta mayor variabilidad e incertidumbre. Por ejemplo, el modelo HADGEM1 indica una disminución de 41% a 72%, dependiendo del país, y un promedio regional de 62%. ECHAM5 señala reducciones del orden de 8% a 32%, salvo en Panamá, que sería 0%, y un promedio regional de 17%. Finalmente, el modelo GFDL CM2.0 indica un rango de cambios, tanto reducciones como aumentos, dependiendo del país, entre -16% y 4% con un promedio regional de -7%.
6. La evaluación de los costos potenciales del cambio climático en Centroamérica requiere un cuidadoso análisis de los escenarios a diversos plazos y a nivel país. El presente ejercicio se basa en metodologías del estado del arte en reducción de escalas espaciales y temporales. Sus principales resultados son los de temperatura y precipitación, como en los reportes del IPCC. Quizá lo más notable del presente trabajo ha sido la posibilidad de regionalizar en forma eficiente los escenarios utilizados por el IPCC en su tercer y cuarto reporte de evaluación. Ello permite estimar, a partir de la dispersión de las proyecciones, la incertidumbre del clima futuro a nivel país.

## CAPÍTULO I.

## ANEXO: BASES DE DATOS CLIMÁTICOS GENERADOS POR EL PROYECTO

1. **Rejilla:** Información histórica mensual con resolución 30 minutos de CRU TS 3.0 (UEA, 2010), para el período 1901-2100.

**ESCENARIO A1B. TEMPERATURA MEDIA Y PRECIPITACIÓN**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
GFDL CM2.0	x	x	x	x	x	x	x
HADGEM1	x	x	x	x	x	x	x
ECHAM5	x	x	x	x	x	x	x

**ESCENARIO A2. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
GFDL CM2.0	x	x	x	x	x	x	x
ECHAM5	x	x	x	x	x	x	x
MIROC-MEDRES	x	x	x	x	x	x	x

**ESCENARIO A2. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA MEDIA**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
HADGEM1	x	x	x	x	x	x	x

**ESCENARIO B1 TEMPERATURA MEDIA Y PRECIPITACIÓN**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
GFDL CM2.0	x	x	x	x	x	x	x
ECHAM5	x	x	x	x	x	x	x

**ESCENARIO B2. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
ECHAM4	x	x	x	x	x	x	x
HADCM3	x	x	x	x	x	x	x

**ESCENARIO B2. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA MEDIA**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
GFDL R30	x	x	x	x	x	x	x

2. **Escala nacional:** Información histórica mensual y anual de CRU TS3.0 (UEA, 2010) para el período 1961-1990, 1901-2006.

**ESCENARIO A1B TEMPERATURA MEDIA Y PRECIPITACIÓN**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
GFDL CM2.0	x	x	x	x	x	x	x
HADGEM1	x	x	x	x	x	x	x
ECHAM5	x	x	x	x	x	x	x

**ESCENARIO A2 TEMPERATURA MEDIA Y PRECIPITACIÓN**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
GFDL CM2.0	x	x	x	x	x	x	x
HADGEM1	x	x	x	x	x	x	x
ECHAM5	x	x	x	x	x	x	x

**ESCENARIO B2 TEMPERATURA MEDIA Y PRECIPITACIÓN**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
GFDL R30	x	x	x	x	x	x	x
HADCM3	x	x	x	x	x	x	x
ECHAM 4	x	x	x	x	x	x	x

**ESCENARIO B1 TEMPERATURA MEDIA Y PRECIPITACIÓN**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
GFDL CM2.0	x	x	x	x	x	x	x
ECHAM5	x	x	x	x	x	x	x

3. **Escala municipal:** Información histórica con cortes de la climatología de 2020, 2030, 2050 2070 y 2095 de WorldClim (Hijmans, y otros, 2010), para el período 1950-2000.

**ESCENARIO A1B TEMPERATURA MEDIA Y PRECIPITACIÓN**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
MIROC-HIRES	x	x	x	x	x	x	x
HADGEM1	x	x	x	x	x	x	x

**ESCENARIO A2 TEMPERATURA MEDIA Y PRECIPITACIÓN**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
HADGEM1	x	x	x	x	x	x	x

**ESCENARIO A2 TEMPERATURA MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA, Y PRECIPITACIÓN**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
ECHAM5	x	x	x	x	x	x	x
MIROC-MEDRES	x	x	x	x	x	x	x

**ESCENARIO B2 TEMPERATURA MEDIA, MÁXIMA Y MÍNIMA, Y PRECIPITACIÓN**

Modelo	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
ECHAM4	x	x	x	x	x	x	x
HADCM3	x	x	x	x	x	x	x

Fuente: Elaboración propia.



## 2. ESCENARIOS MACROECONÓMICOS Y DEMOGRÁFICOS

### 2.1 INTRODUCCIÓN

Desde la óptica económica, el clima global es un bien público. Por tanto, su uso indiscriminado como receptáculo de gases de efecto invernadero (GEI) representa la mayor externalidad negativa global que haya existido (Stern, 2007). Los impactos económicos del cambio climático proyectados para este siglo son impresionantes y, dada su magnitud, determinarán en gran medida las características y condiciones del desarrollo económico futuro (Hallegatte, 2009). Asimismo, las opciones tecnológicas y los costos económicos de los procesos de mitigación son significativos en áreas como energía y transporte, lo que modificará los patrones de desarrollo económico actuales.

El cambio climático es uno de los temas más relevantes de la agenda política internacional. Por lo tanto, para los países de Centroamérica es muy importante identificar y cuantificar sus posibles impactos a fin de instrumentar políticas de adaptación y mitigación que reduzcan sus efectos negativos. Ahora bien, su valuación económica es una tarea compleja que obliga a asumir supuestos no siempre seguros sobre la trayectoria de diferentes variables para simular escenarios que relacionen la evolución económica con su impacto ambiental.

El objeto del presente apartado es presentar escenarios de crecimiento económico y demográfico para el conjunto de países de la región (Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá), considerando el largo período que va desde el presente hasta el año 2100. Estos escenarios no implican compromisos con metas de crecimiento de los países de la región, sino que son ejercicios de prospectiva para estimar el costo económico del cambio climático al año 2100 en el marco del proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica.”

### 2.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y CONTEXTO ACTUAL

La dinámica macroeconómica de los países de Centroamérica experimentó cambios estructurales e inestabilidades importantes durante las últimas seis décadas. En las décadas de los años cincuenta y sesenta, los siete países tuvieron un crecimiento acelerado (véase el cuadro 2.1). La tasa de crecimiento promedio del PIB agregado de la región se mantuvo en alrededor de 5,5%, destacando el desempeño de Costa Rica, sobre todo durante los años cincuenta, con una tasa promedio de 7%. Los países restantes crecieron entre 4% y 5% anual, con excepción de Honduras. En la década de los sesenta, todos los países tuvieron un crecimiento robusto, encabezados por Nicaragua y Panamá, que alcanzaron tasas promedio de 7,5% y 8,1%, respectivamente (Macías, Guy y Hollar, 2007).

**CUADRO 2.1**  
**CENTROAMÉRICA: TASAS DE CRECIMIENTO PROMEDIO DEL PIB, 1950 A 2009**  
*(En porcentajes)*

País	Década					
	50s	60s	70s	80s	90s	00s
Belice	ND	5,2	6,4	4,3	5,2	4,0
Costa Rica	7,0	5,8	6,2	2,3	5,6	4,2
El Salvador	4,4	5,9	4,0	-1,0	4,9	2,1
Guatemala	4,0	5,5	5,9	0,6	4,2	4,7
Honduras	3,2	5,0	5,9	2,7	3,0	4,1
Nicaragua	5,7	7,5	-0,1	-1,5	3,3	2,7
Panamá	4,7	8,1	4,5	0,6	5,3	6,1

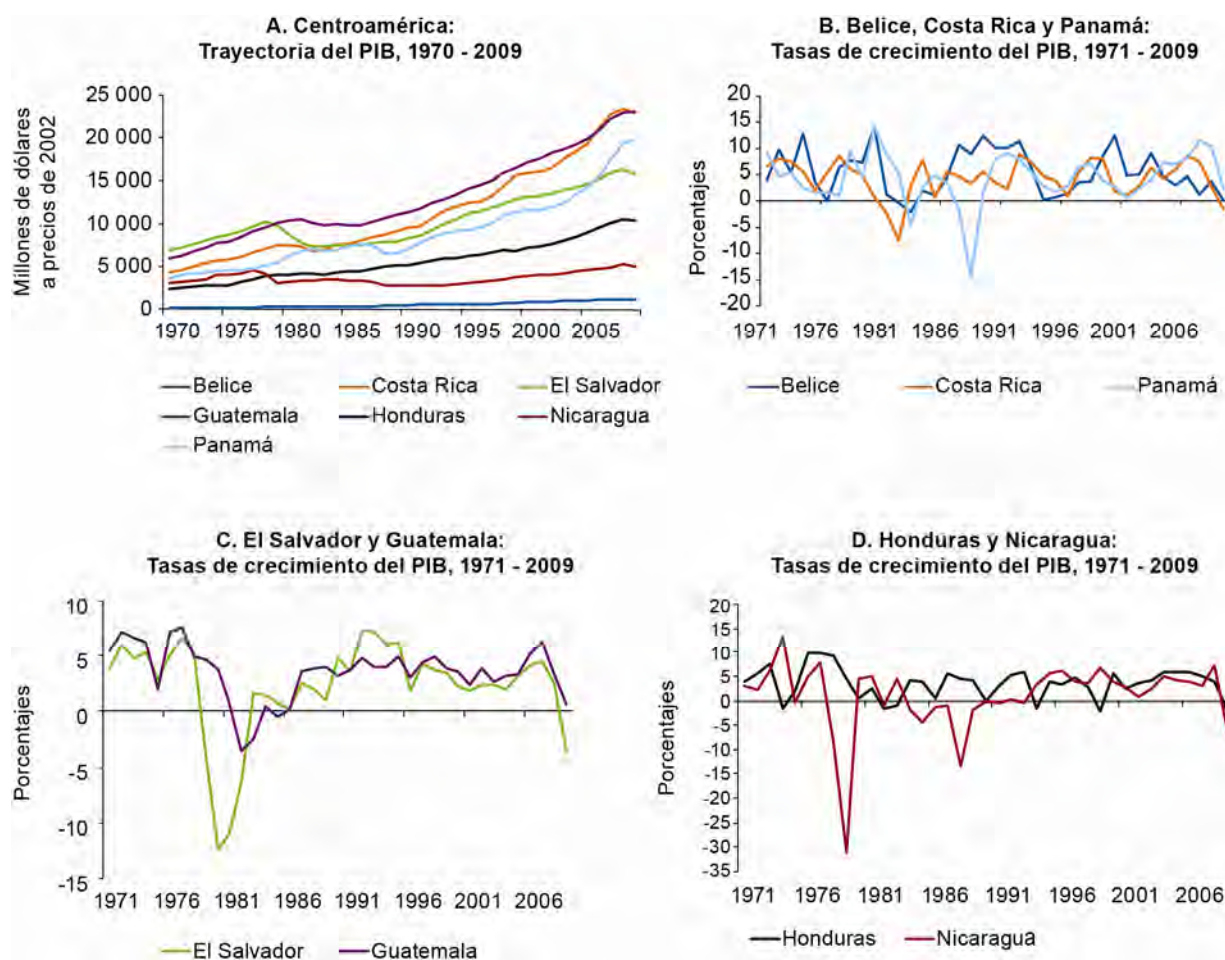
Nota: ND = no disponible.

Fuente: Con base en información de CEPAL y Banco Mundial.

El ritmo de crecimiento se redujo hacia finales de los años setenta y durante los años ochenta por adversidades económicas, sociales y políticas, incluyendo períodos de inestabilidad política, rupturas institucionales e incluso guerras civiles en varios países (De Gregorio, 1992; 2008; Loayza, Fajnzylber y Calderón, 2005; Cole y otros, 2005; Elias, 1992). Ocurrieron también choques externos, como la crisis de la deuda de los años ochenta, que redujo drásticamente el crédito externo y provocó un largo estancamiento (Agosin y Machado, 2003; Leamer y otros, 1999; Kurtenbach, 2010). Nicaragua tuvo una fuerte contracción económica en las décadas de los setenta y ochenta; situación similar atravesó El Salvador, sobre todo en la década de los ochenta. En este mismo período, el crecimiento de Guatemala y Panamá fue prácticamente nulo, con una tasa promedio de 0,6% anual. Costa Rica y Honduras redujeron sus tasas de crecimiento prácticamente a la mitad en comparación con la década de los setenta. Otros choques externos severos fueron la crisis del petróleo y la caída de los precios internacionales del café y las frutas. El deterioro de las finanzas públicas, la destrucción de infraestructura y el ambiente general de incertidumbre complicaron aún más la situación económica durante este decenio (Ros, 2004).

La década de los noventa inició una nueva etapa para la región. La pacificación de varios países, la reanudación del acceso a los mercados de capital por cambios externos (el Plan Brady y la disminución de las tasas de interés en los Estados Unidos) y la estabilidad macroeconómica crearon condiciones favorables para la recuperación económica (Ros, 2004; Leamer y otros, 1999). La estabilidad macroeconómica fue lograda mediante la reducción del déficit fiscal y de las tasas de inflación y el inicio de un proceso de reformas estructurales en política comercial, política tributaria, política financiera, reducción relativa del tamaño del Estado y legislación laboral (Muñoz, 2007; SECMA, 2003; 2004; Ros, 2004; Agosin, Machado y Nazal, 2002). A consecuencia de estos cambios y el contexto global, el PIB agregado tuvo un crecimiento promedio del 4,6% anual en los años noventa en un ambiente de recuperación sostenida en los siete países de la región (véase el cuadro 2.1), que se manifestó en una tendencia ascendente de la producción por encima de la trayectoria de largo plazo. Sin embargo, el ritmo de crecimiento se reduce ligeramente en el período 2000-2009 en Belice, Costa Rica, El Salvador y Nicaragua, con tasas de crecimiento promedio ligeramente menores a las de la década anterior. Guatemala, Honduras y Panamá reportaron un ritmo de crecimiento mayor. El gráfico 2.1 muestra la trayectoria del PIB y de su tasa de crecimiento para los países de Centroamérica durante el período 1971 – 2009.

**GRÁFICO 2.1**  
**CENTROAMÉRICA: TRAYECTORIAS Y TASAS DE CRECIMIENTO DEL PIB, 1970 A 2009**  
*(En millones de dólares a precios de 2002 y en porcentajes)*



Fuente: Con base en información de la CEPAL.

La recuperación del crecimiento ha estado ligada a la mayor apertura comercial y financiera de los países, la cual ha provocado una mayor correlación de la región con los ciclos económicos globales mediante nuevos canales de transmisión e intercambio (CEPAL, 2008d). El buen desempeño de principios del siglo XXI se explica en buena medida por la expansión de la economía mundial y la abundante liquidez de los mercados internacionales de capital. Sin embargo, estas condiciones favorables han sido limitadas por nuevos choques externos, como la nueva ola de incrementos del precio del petróleo y luego de los alimentos. Esta situación muestra que el desempeño de los países de la región dependerá en buena medida de la evolución de la economía mundial, en particular la de los Estados Unidos.

El coeficiente de apertura de la región<sup>1</sup> para el año 2009 es bastante elevado, aproximadamente 85% (CEPAL, 2011b), lo que indica una fuerte relación con la dinámica del comercio mundial. Así por ejemplo, el alza de los precios internacionales de las materias primas en los años 2007 y 2008, principalmente petróleo y granos básicos, disminuyó el poder adquisitivo vía aumento de la

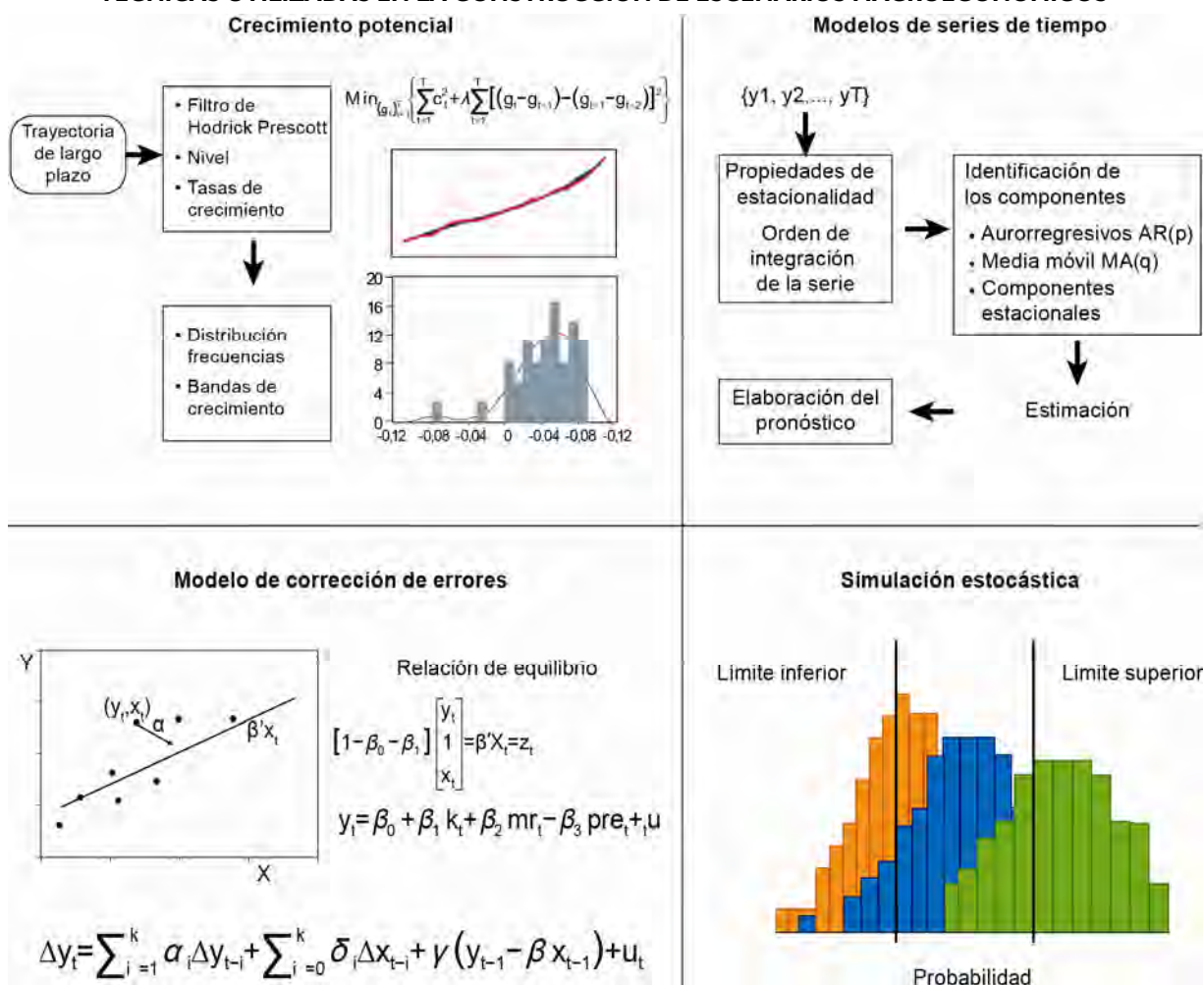
<sup>1</sup> Calculado como: (Importaciones + Exportaciones)/PIB. Incluye: Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá.

inflación. Además del comercio exterior, la actividad económica depende en gran medida del financiamiento externo, las remesas familiares, el turismo y la inversión extranjera. De tal manera que la dinámica de crecimiento de la región estará determinada en gran medida por factores externos y el crecimiento de la economía global. La recurrencia de períodos de crisis prolongados afectará su potencial de crecimiento de largo plazo. En este contexto incierto, delinear trayectorias de crecimiento a largo plazo resulta complejo.

### 2.3 LOS ESCENARIOS MACROECONÓMICOS A 2100<sup>2</sup>

La metodología utilizada para establecer escenarios macroeconómicos al 2100 es una combinación de distintos instrumentos de análisis econométricos: crecimiento tendencial, modelos de series de tiempo y modelos de corrección de errores (véase el diagrama 2.1).

**DIAGRAMA 2.1**  
**TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS MACROECONÓMICOS**



Fuente: Elaboración propia.

<sup>2</sup> Las estimaciones para este ejercicio se realizaron durante el año 2009, con información histórica hasta el año 2007. Por esta razón, las cifras para los años 2008 y 2009 son resultado del ejercicio de estimación y no necesariamente corresponden a los datos históricos observados en ese período.

El crecimiento tendencial, a través de filtros sobre las series de tasas de crecimiento del PIB y su distribución de frecuencias, permite identificar los rangos probables de crecimiento a largo plazo. Los modelos de series de tiempo son herramientas ampliamente utilizada en la elaboración de pronósticos porque permiten identificar los patrones regulares de las variables en el tiempo y así pronosticar su comportamiento futuro a partir de la historia del proceso estocástico. Los modelos de corrección de errores se basan en una especificación en la que el nivel de crecimiento a largo plazo es explicado por un conjunto de variables exógenas, que permiten obtener simulaciones de las trayectorias futuras del PIB (véase Galindo, 2009). Estas tres técnicas econométricas fueron aplicadas, utilizando las trayectorias resultantes en una simulación Montecarlo para obtener las bandas de probabilidad de las tasas de crecimiento promedio anual a largo plazo. Se deben reconocer las dificultades de aplicar determinadas técnicas econométricas de pronóstico, las cuales serían óptimas si no existieran problemas de especificación, si los parámetros fueran constantes y si las series fueran estacionarias. En el caso de los países centroamericanos se desconoce el modelo verdadero, existen cambios estructurales relevantes y ciertas series económicas no son estacionarias.

El gráfico 2.2 presenta la evolución del filtro HP (Hodrick y Prescott, 1997) de las tasas de crecimiento del PIB y las bandas de desviación estándar en cada caso entre los años 1970 y 2007, donde se ubican la mayoría de las observaciones del filtro, indicando los rangos probables de la tasa promedio de crecimiento futuro. La ubicación de los rangos de crecimiento facilita la realización de pronósticos de largo plazo, en vez de hacer énfasis en los valores específicos por año. Con este método se espera que el rango de crecimiento potencial de Belice sería entre 3,10% y 4,95% anual, similar al de Costa Rica, de 3,20% a 5,32%. Nicaragua sería el país con menor crecimiento potencial, 1,97%, con un límite superior de 4,33%. Para el resto de los países el límite inferior sería de 2,11% a 2,97% y el límite superior de 4,33% a 4,76%.

La tendencia histórica se proyecta hacia el futuro, utilizando modelos de series de tiempo. Los resultados de las estimaciones se presentan en el gráfico 2.3. De no modificarse las condiciones estructurales de crecimiento de los países centroamericanos o de la economía internacional, es difícil esperar tasas reales de crecimiento elevado de largo plazo en la región. Este argumento considera la experiencia histórica reciente, las dificultades actuales de los países para dinamizar la formación de capital y los débiles impulsos de la economía mundial, sobre todo en difusión de tecnología e inversión.

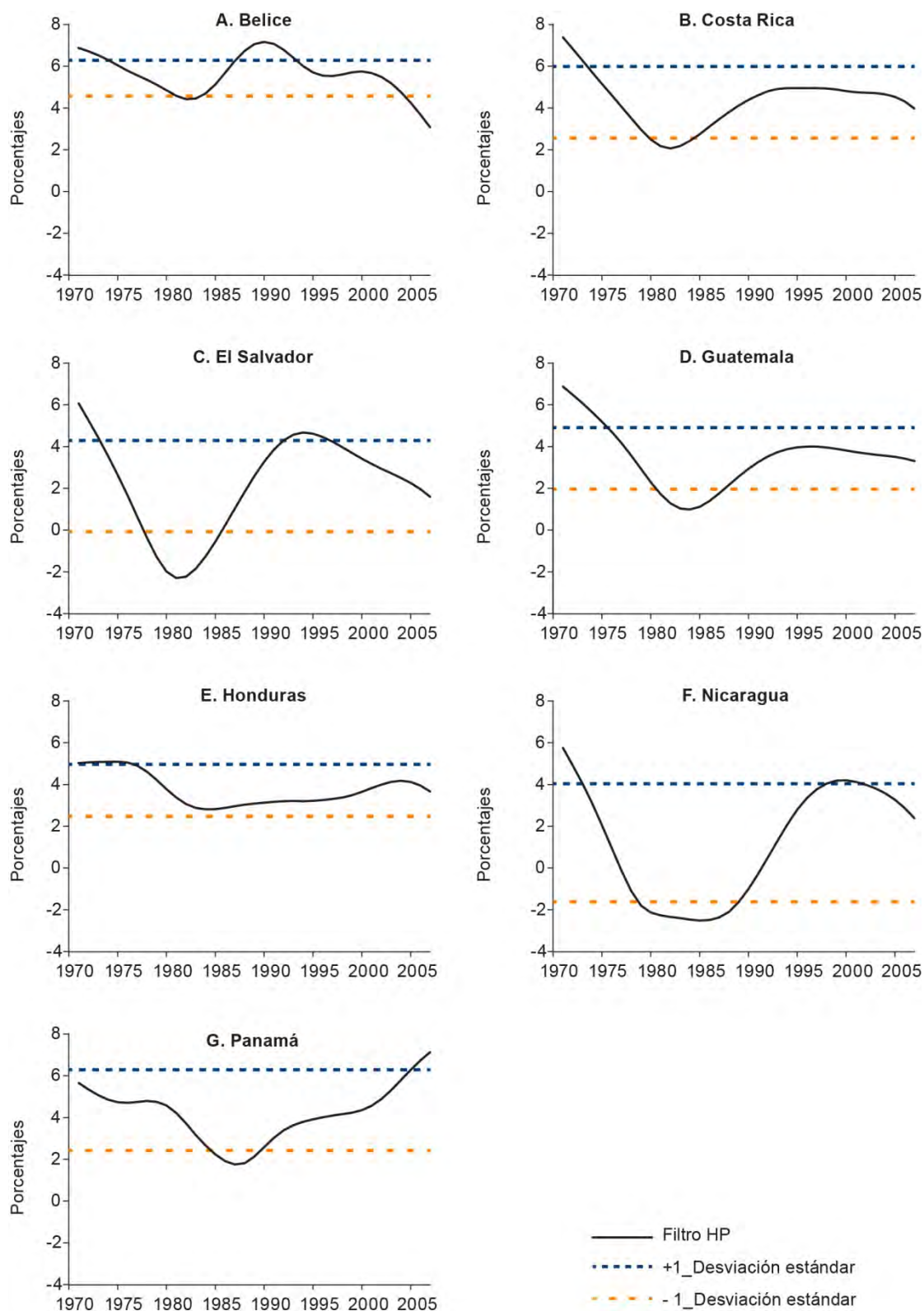
El análisis de las relaciones de largo plazo entre el producto y el conjunto de variables explicativas fue realizado con base en la metodología de cointegración y un modelo de corrección de errores, utilizando los modelos de vectores autoregresivos (VAR) y el procedimiento de Johansen (Johansen, 1988). Así, la estrategia econométrica combina las técnicas econométricas modernas con modelos causales de sentido económico, lo que permite obtener simulaciones y pronósticos razonables. La especificación de este tipo de modelos se basó en la siguiente ecuación:

$$(2.1) \quad \Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta Y_{t-1} + \delta[Y_{t-1} - \alpha_1 K_{t-1} - \alpha_2 WF_{t-1} - \alpha_3 PRE_{t-1}] + u_t$$

Donde  $Y_t$  representa el producto real,  $K_t$  el capital,  $WF_t$  es un agregado monetario en términos reales que aproxima la riqueza financiera, y  $PRE_t$  representa la relación de precios de energía con el nivel general de precios.

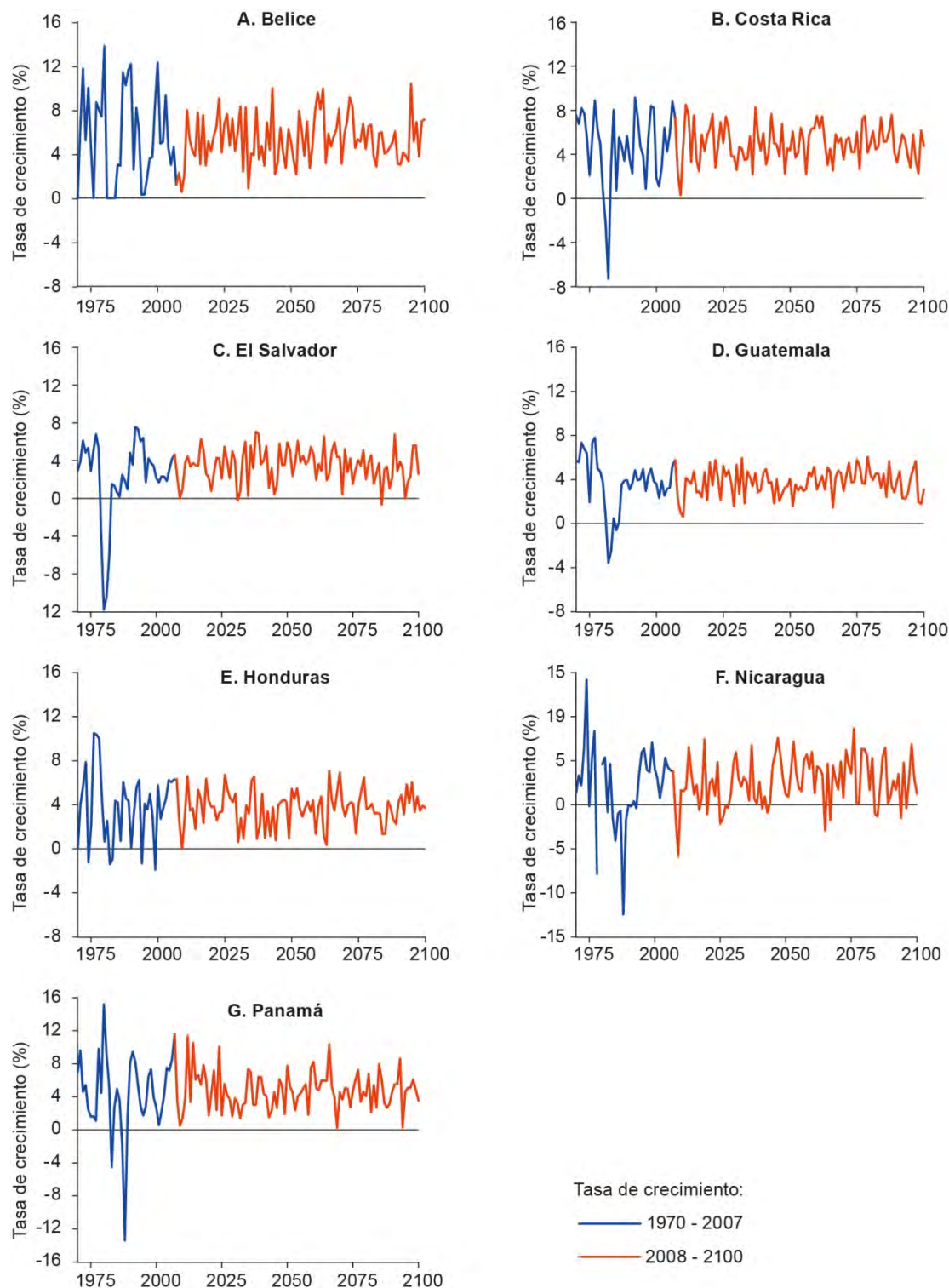


**GRÁFICO 2.2**  
**CENTROAMÉRICA: FILTRO HODRICK-PRESCOTT DE LAS TASAS DE CRECIMIENTO DEL PIB, 1970 A 2007**  
 (En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia con información de CEPAL y Banco Mundial.

**GRÁFICO 2.3**  
**CENTROAMÉRICA: MODELOS DE SERIES DE TIEMPO CON VALORES OBSERVADOS (1970 A 2007) Y**  
**PRONÓSTICO (2008 A 2100) DE LA TASA DE CRECIMIENTO DEL PIB**  
*(En porcentajes)*



Nota: Nicaragua alcanza una tasa de crecimiento de -26,5% durante el año 1979.

Fuente: Elaboración con información de CEPAL y Banco Mundial.

La inclusión del agregado monetario tiene por objetivo capturar el efecto del sistema financiero en el crecimiento económico, como lo muestran los efectos de los *shocks* monetarios (Walsh, 2003). El sector energético tiene gran importancia para el desempeño económico. La tendencia ascendente de los niveles de consumo de energía ha seguido muy de cerca la trayectoria del PIB, representando un insumo clave de la función de producción. Así, las reducciones de la oferta energética pueden tener consecuencias negativas para el producto, dependiendo de su grado de sustituibilidad o complementariedad con el empleo. Sus consecuencias negativas para el ambiente han provocado intensas discusiones sobre las posibles trayectorias y las alternativas para hacer más eficiente y controlar el consumo de energía.

Los modelos econométricos elaborados permiten identificar algunos patrones sistemáticos. La trayectoria de largo plazo del PIB de las economías de Centroamérica tiende ajustarse a la acumulación de capital, mostrando elasticidades positivas en todos los casos, con valores que van de 0,215 a 0,786. El agregado monetario en términos reales arroja un impacto positivo con elasticidades que van de 0,118 a 0,426, lo que muestra el peso relevante de la expansión del sistema financiero en las economías. Los precios relativos de la energía tienen impacto negativo a largo plazo y en el ajuste dinámico a corto plazo, consistente con la hipótesis inicial, asumiendo a la energía como insumo básico para la producción. No obstante el efecto negativo, las elasticidades de los precios relativos estimadas en las ecuaciones de largo plazo muestran valores muy cercanos a cero, lo cual podría evidenciar que las elasticidades no reflejan la estructura de costos de la generación de energía, lo que hace difícil utilizar esta variable como instrumento de política.

A fin de obtener una trayectoria del crecimiento de las economías a largo plazo, se asumió un conjunto de supuestos sobre las variables exógenas, que en esencia delinean un escenario muy similar al comportamiento de las últimas dos décadas, prescindiendo de valores extremos. Estos supuestos alimentan las variables exógenas que permiten obtener las tasas de crecimiento y las trayectorias del PIB.

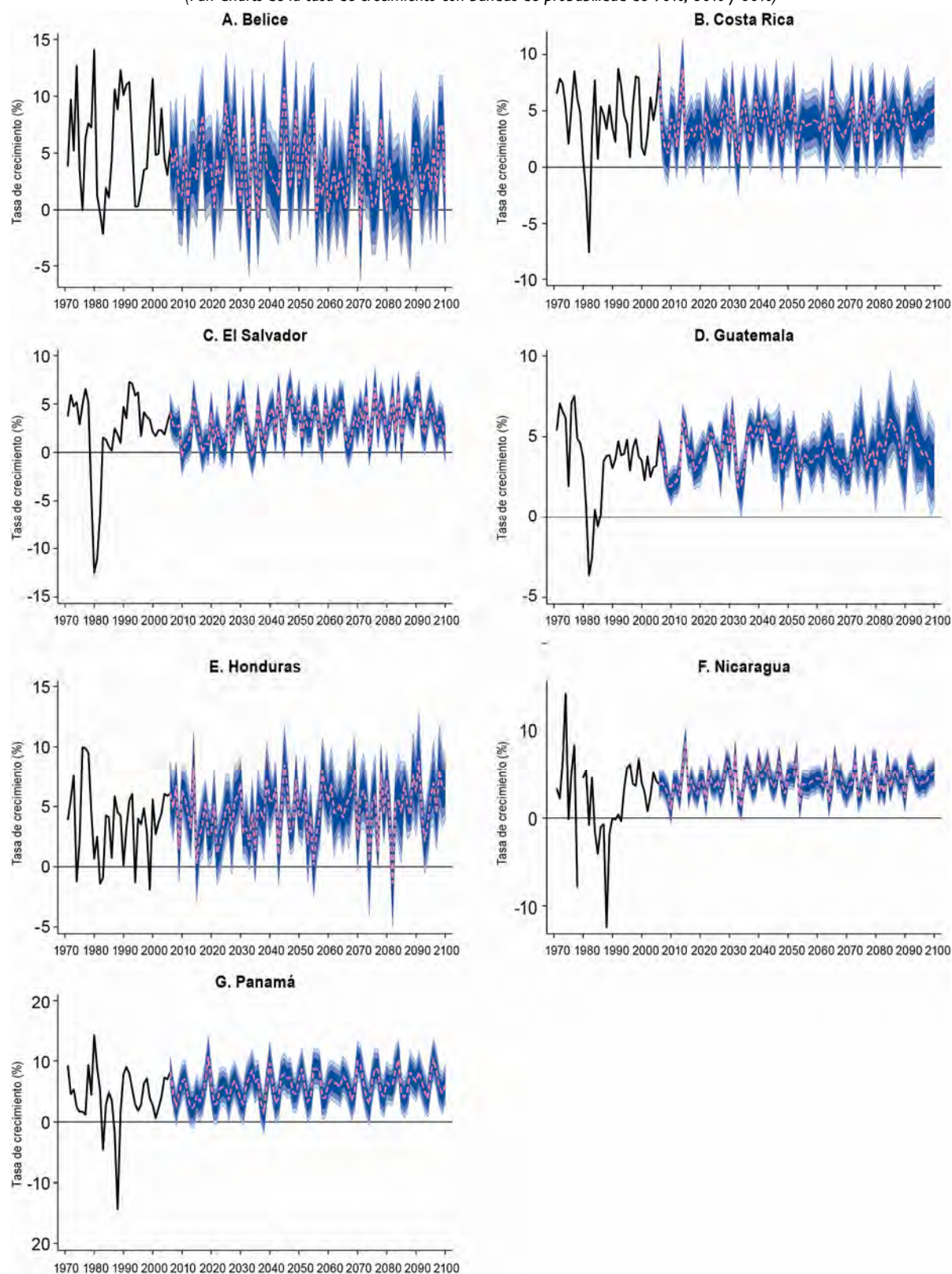
A fin de considerar el nivel de incertidumbre sobre el pronóstico, se realizaron simulaciones estocásticas sobre un rango de valores de las variables exógenas y se construyeron bandas de probabilidad de ocurrencia (*Fan Charts*) sobre las tasas de crecimiento proyectadas (véase el gráfico 2.4). Con una probabilidad del 60%, el crecimiento de la región fluctuará entre 2,34% y 4,05% anual. Si las condiciones estructurales no se modifican sustancialmente, las economías crecerán en los rangos estimados por el modelo. Existe un 20% de probabilidad de que la mayoría de las economías alcancen un crecimiento promedio inferior al 3%.

Así, se definieron tres escenarios de crecimiento a largo plazo. El escenario base asume una dinámica de formación de capital similar al promedio observado en las últimas dos décadas, un crecimiento estable del sector financiero, una tendencia a una mayor estabilidad macroeconómica (en términos de inflación), considerando a la energía como insumo de la producción cuyo precio relativo afecta la trayectoria de crecimiento. De esta forma, los escenarios prospectivos para las próximas décadas asumen que la volatilidad de precios de alimentos, energéticos y las crisis financieras serán más frecuentes. El escenario pesimista asume una probabilidad del 20% de que así ocurra. En contraste, existe un nivel de probabilidad más bajo (10%) de que la economía de Centroamérica crezca a tasas elevadas. Los estudios sectoriales usaron la tasa de crecimiento base y ecuaciones desagregadas preparadas para los productos agropecuario, industrial y de servicios de cada país (véase el cuadro 2.2).



**GRÁFICO 2.4**  
**CENTROAMÉRICA: ESCENARIOS DE CRECIMIENTO DEL PIB CON VALORES OBSERVADOS (1970 A 2007) Y**  
**PRONÓSTICO (2008 A 2100)**

*(Fan Charts de la tasa de crecimiento con bandas de probabilidad de 90%, 80% y 60%)*



Nota: Nicaragua alcanza una tasa de crecimiento de -26,5% durante el año 1979.

Fuente: Elaboración propia con información de CEPAL y Banco Mundial.

El escenario base corresponde a la media entre el límite inferior y el límite superior de la trayectoria esperada con una probabilidad del 60%. Por lo tanto, se espera que el crecimiento promedio anual para el período 2008-2100 sea 3,59% para Belice, 3,09% para Costa Rica, 3,22% para El Salvador, 3,18% para Guatemala, 3,17% para Honduras, 3,07% para Nicaragua y 3,53% para Panamá.

En el escenario de bajo crecimiento, se decidió utilizar el límite superior de la trayectoria con 20% de probabilidad. En este escenario, Belice tendría una tasa de 2,81%, Costa Rica 2,42%, El Salvador 2,26%, Guatemala 2,67%, Honduras 2,76%, Nicaragua 2,34% y Panamá 2,90%.

En el escenario de alto crecimiento, se decidió utilizar el límite inferior de la trayectoria con 10% de probabilidad. Belice registraría una tasa de 4,11%, Costa Rica 3,77%, El Salvador 3,88%, Guatemala 3,78%, Honduras 4,21%, Nicaragua 3,79% y Panamá 4,11%.

La elección de estos escenarios se justifica por la necesidad de contar con una trayectoria tendencial del crecimiento como referencia para evaluar los impactos del cambio climático, por lo cual se considera que la tasa de crecimiento más probable es la ubicada en la media de la trayectoria con mayor probabilidad de ocurrencia. Los otros dos escenarios, uno con menor ritmo y otro con mayor ritmo de crecimiento, permiten estimar los impactos bajo distintas trayectorias de crecimiento y son compatibles con el rango de las tasas de crecimiento supuestas en los escenarios de emisiones del IPCC.

**CUADRO 2.2**  
**CENTROAMÉRICA: ESCENARIOS DE LA TASA DE CRECIMIENTO DEL PIB, 2008 A 2100**  
(En porcentajes)

País	Escenarios de crecimiento económico		
	Bajo	Base	Alto
Belice	2,81	3,59	4,11
Costa Rica	2,42	3,09	3,75
El Salvador	2,26	3,22	3,88
Guatemala	2,67	3,18	3,78
Honduras	2,76	3,17	4,21
Nicaragua	2,34	3,07	3,79
Panamá	2,90	3,53	4,11
Centroamérica	2,61	3,25	3,93

Fuente: Elaboración propia.

El segundo bloque de análisis incluye ecuaciones para el producto agropecuario, el industrial y el de servicios de cada país. Las especificaciones generales toman en cuenta que las participaciones de estos componentes en el producto tienden a seguir una evolución relativamente constante hasta cierto punto. Las variables se establecen en función del producto agregado y se buscó que su proporción se modificara en el tiempo, de acuerdo con el cambio de otros factores que capturan las características estructurales del proceso de crecimiento. La especificación general utilizada es:



$$(2.2) \quad ya_{it} = \beta_0 + \beta_1 y_{it} + \beta_2 sr_{it} + u_{it} ya$$

$$(2.3) \quad yi_{it} = \beta_0 + \beta_1 y_{it} + \beta_2 sr_{it} + u_{it} yi$$

$$(2.4) \quad ys_{it} = \beta_0 + \beta_1 y_{it} + \beta_2 sr_{it} + u_{it} ys$$

Donde  $ya_{it}$  representa al PIB del sector agropecuario,  $yi_{it}$  es el PIB industrial,  $ys_{it}$  es el PIB del sector servicios,  $y_{it}$  es el PIB total del país y  $sr_{it}$  es el tipo de cambio real. Por supuesto, esta especificación no representa la complejidad de la estructura productiva en el proceso de crecimiento. No obstante, el balance general permite simular satisfactoriamente el comportamiento de las series. Las ecuaciones deben considerarse en todo caso como formas reducidas para proyectar las variables. Los pronósticos realizados en este segundo bloque son consistentes con los obtenidos por el primer bloque. Los resultados de las estimaciones para toda la región se reportan en el cuadro 2.3.

**CUADRO 2.3**  
**CENTROAMÉRICA: ESCENARIOS DE CRECIMIENTO DEL PIB POR SECTORES, 2008 A 2100**  
(En porcentajes)

PIB por sectores	Escenarios de crecimiento económico		
	Bajo	Base	Alto
PIB agropecuario	2,43	3,03	3,72
PIB industrial	2,60	3,26	3,99
PIB servicios	2,74	3,38	4,13
PIB total	2,61	3,25	3,93

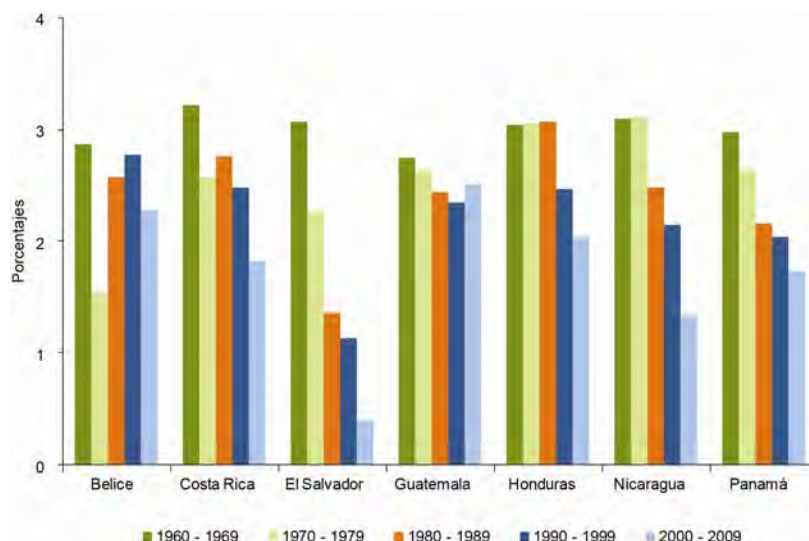
Fuente: Elaboración propia.

## 2.4 EVOLUCIÓN DEMOGRÁFICA HISTÓRICA

Las transformaciones sociales y económicas de Centroamérica en las décadas de los sesenta y los setenta mejoraron las condiciones de vida de la población y provocaron cambios importantes en el perfil demográfico de los países. Muchos de estos adelantos se estancaron o retrocedieron en la década de los ochenta, provocando un fuerte deterioro social. Sin embargo, las tendencias demográficas aparentemente no fueron alteradas por tales circunstancias, y los cambios iniciados a mediados del siglo XX siguieron su curso. En efecto, la tasa de crecimiento poblacional mantuvo su trayectoria descendente y los cambios en la estructura por edades de la población se acentuaron.

El gráfico 2.5 ilustra la evolución de las tasas de crecimiento de la población total por país durante las últimas cinco décadas. Honduras y Nicaragua registraron tasas promedio de 3%, las más altas de la región. Esta tendencia se mantuvo hasta finales de la década de los ochenta. En contraste, Costa Rica, Panamá y El Salvador han registrado una tendencia descendente. La tasa actual de El Salvador es inferior a 1% anual, la menor en la región.

**GRÁFICO 2.5**  
**CENTROAMÉRICA: TASAS DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN DE CENTROAMÉRICA**  
**POR DÉCADAS, 1960 A 2009**  
*(En porcentajes)*



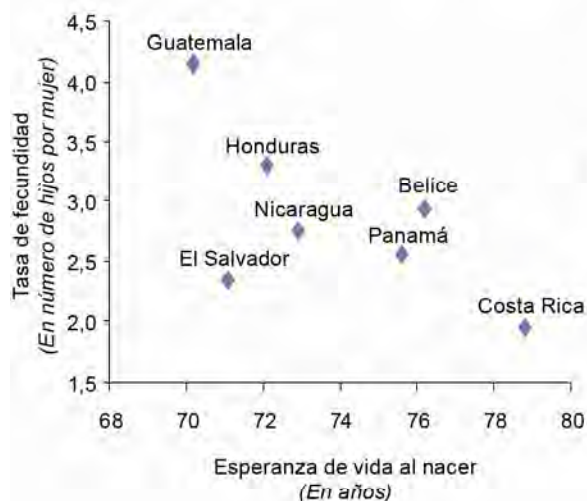
Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones de CELADE.

El conjunto de los países de Centroamérica atraviesa la segunda etapa del proceso de transición demográfica, expresado como un fuerte descenso de la tasa de fecundidad y un aumento de la esperanza de vida (véase el gráfico 2.6). Es posible afirmar que la región está replicando el proceso de transición demográfica ocurrido en Europa. Sin embargo, el ritmo de los cambios ha sido mucho más rápido en Centroamérica y se ha acelerado en las dos últimas décadas, cambiando rápidamente la estructura de edades. Estos cambios van aunados a la expansión de los centros urbanos, lo cual está creando diferentes grados de vulnerabilidad de los países en el contexto del cambio climático.

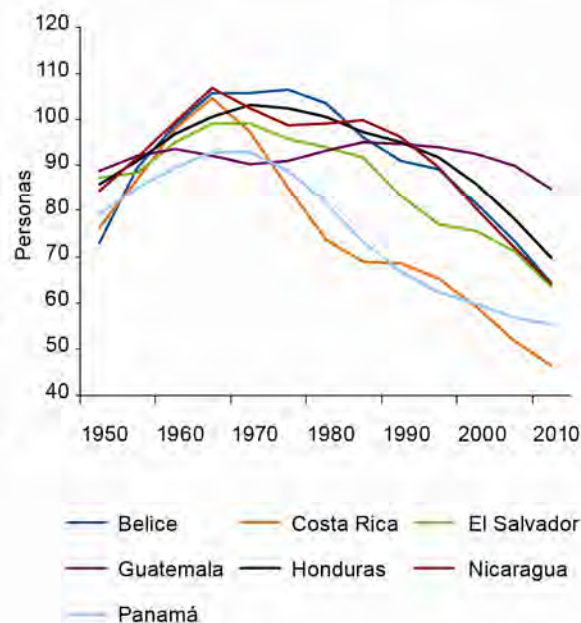
Respecto a la proporción de la población menor a 14 años, Panamá y Costa Rica muestran una tendencia descendente que se ha acelerado desde el 1990, seguidos por El Salvador, con una tasa de descenso menor. Belice, Honduras y Nicaragua también muestran un ligero descenso a partir del año 2000, en tanto que Guatemala se ha mantenido relativamente estable en un nivel de 43%. En contraste, la trayectoria de la población mayor a 60 años se sitúa en un nivel menor a 10% en la mayoría de los casos. Destacan Costa Rica, Panamá y El Salvador con una tendencia ascendente alrededor de 10%; el resto se ubicaba en 6% hacia el 2010.

### GRÁFICO 2.6 CENTROAMÉRICA: CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS

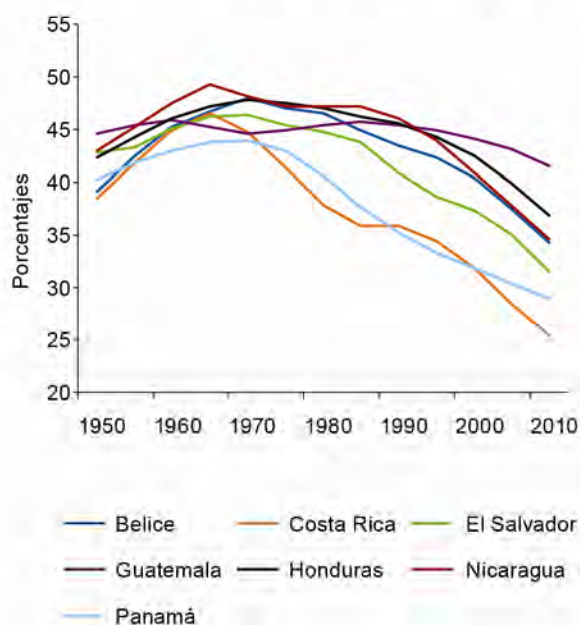
**A. Tasa de fecundidad vs esperanza de vida al nacer en países de Centroamérica, 2005-2010**



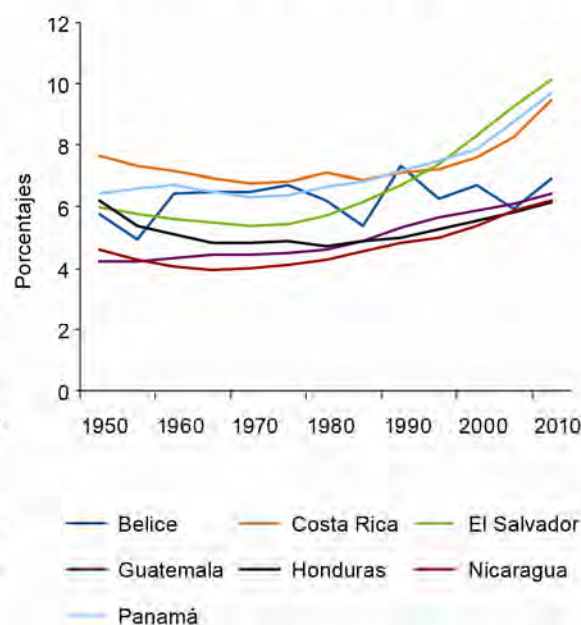
**B. Indicador de dependencia demográfica, 1950-2010 (Por cada 100 personas en edad de trabajar)**



**C. Población menor a 14 años respecto al total**



**D. Población mayor a 60 años respecto al total**



Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones de CELADE, revisadas de 2011. Los datos para Belice se obtuvieron de UNFPA, 2010.

## 2.5 ESCENARIOS DEMOGRÁFICOS A 2100

En la elaboración de los escenarios macroeconómicos se utilizaron las estimaciones y proyecciones de CELADE (Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía, División de Población de la CEPAL) de la población de cada país. CELADE utilizó el "Modelo de los componentes", con el cual, además de generar proyecciones por sexo y grupos de edad, se deriva una amplia y detallada gama de indicadores socio-demográficos, así como otros insumos de gran utilidad para la planificación en los más variados campos. Este modelo permite incorporar de manera integral y sistemática las propuestas sobre la evolución de las variables determinantes de la dinámica poblacional (mortalidad, fecundidad y migración) a partir del conocimiento de la evolución histórica correspondiente a los años de 1950 a 2010 por quinquenios.

La elaboración de proyecciones poblacionales con el método de los componentes requiere algunas etapas previas para establecer las tendencias históricas (período 1950-2010) y definir a partir de ellas los insumos requeridos por el modelo (véase el diagrama 2.2). Los supuestos básicos necesarios son los siguientes:

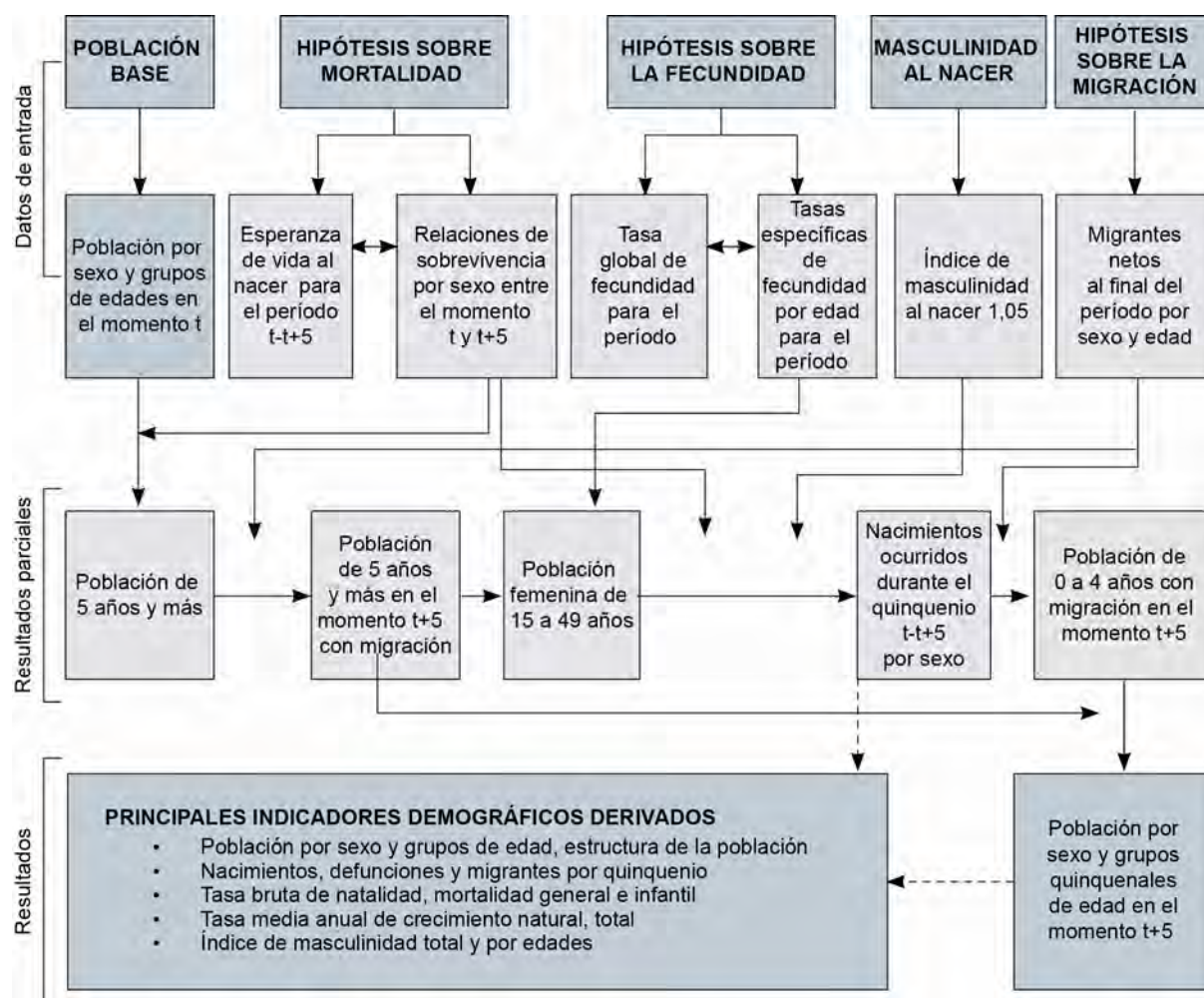
- Una serie de datos históricos de la población, desagregada por sexo y grupos de edad, evaluada, corregida y conciliada con las cifras históricas de los censos de población y con las estadísticas de nacimientos, defunciones y saldos migratorios. Para efectos de utilización de las cifras de las proyecciones, la población base se establece corrientemente al 30 de junio de un año específico.
- Un conjunto de relaciones de sobrevivencia, por sexo y grupos de edad quinquenales, que reflejen las condiciones de mortalidad por sexo y edad de cada quinquenio y las respectivas esperanzas de vida al nacimiento.
- El conjunto de tasas de fecundidad o las distribuciones relativas de la fecundidad por grupos de edad de las mujeres, que reflejen las probables condiciones de fecundidad de la población en cada quinquenio. El modelo usa estas tasas para generar los nacimientos quinquenales por grupos de edad de las mujeres en edad fértil.
- Los volúmenes de migrantes netos por sexo y grupos de edad estimados al final de cada quinquenio.
- Una hipótesis sobre cómo se distribuirán los nacimientos futuros por sexo. Actualmente se usa el factor 105 hombres por cien mujeres o un valor determinado a partir de la tendencia histórica en la población particular.

Con la serie histórica de la población y las estimaciones de los componentes en grupos quinquenales, cada grupo inicial se transformará en un nuevo grupo de edad, cinco años más viejo al transcurrir cada quinquenio. Los cálculos de la población futura se hacen por seguimiento de las líneas de vida de la población base en grupos homogéneos por sexo y edad, incluidas las nuevas cohortes de los nacimientos respectivos. Para calcular la población del modelo se utiliza un programa elaborado por la División de Población de las Naciones Unidas<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Naciones Unidas, *A User's Manual to the Population Projection Computer Programme of the Population Division of the United Nations*, ESA/P/WP.77, 26 de Enero de 1982.

**DIAGRAMA 2.2**  
**CONSTRUCCIÓN DE LOS ESCENARIOS DEMOGRÁFICOS**



Fuente: CEPAL y CELADE, 2007.

El escenario poblacional de CELADE a 2100 sugiere que la población de Centroamérica será de aproximadamente 68 millones de personas en 2050, llegará a su máximo en 2075 con 73 millones y declinará hasta cerca de 69 millones hacia 2100. Esto implicaría un aumento del 75% a 2050, 86% a 2070 y 78% a 2100 respecto a 2005 (véanse el cuadro 2.4 y el gráfico 2.7).

La población de Centroamérica tendrá una expansión importante en el período 2005-2020, destacando Guatemala con una tasa de crecimiento del 2,3%, seguida por Honduras y Belice con 1,8% y 1,7%, respectivamente. En un tercer grupo se ubicarán Costa Rica, Nicaragua y Panamá con una tasa promedio del 1,2% anual. El Salvador tendrá el menor ritmo de crecimiento con una tasa del 0,65%. Todos los países describirían una curva tipo U-invertida, indicando que alcanzarán su nivel máximo de población en el presente siglo, iniciarán una etapa de estabilización y luego una tendencia descendente. Este límite será alcanzado en fechas diferentes. Costa Rica será el primero en alcanzarlo en 2055, y Guatemala será el último, en 2080.

Así, los ritmos de la transición demográfica son diferentes en los países. Panamá y Costa Rica atraviesan una fase de transición más intensa con tasas de fecundidad más bajas y esperanza de vida más alta. En un segundo grupo están Belice, Honduras, Nicaragua y El Salvador, cuyas tasas



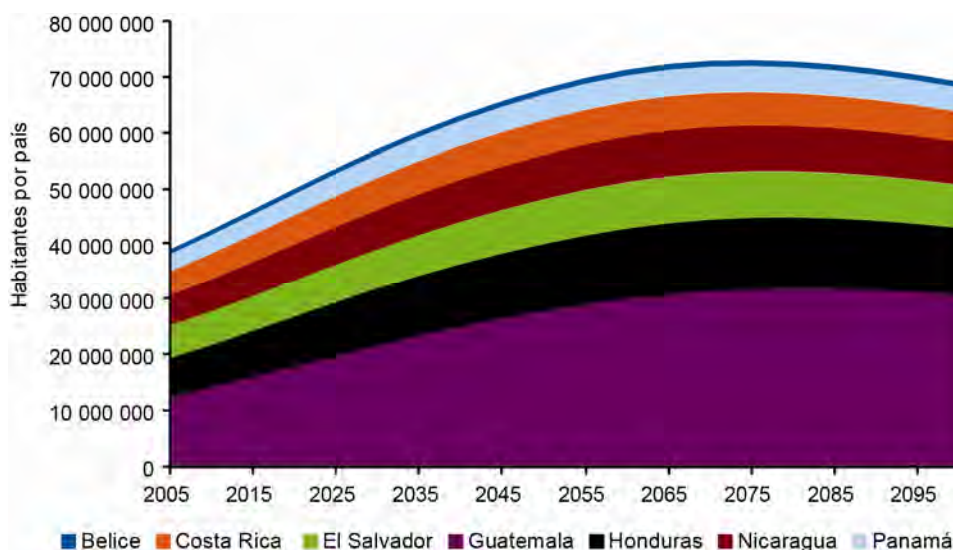
muestran similitud. Sin embargo, debido a las perspectivas de un menor ritmo de crecimiento poblacional de Nicaragua y El Salvador, la situación se modificará en las próximas décadas. La transición demográfica de Guatemala es lenta en relación al resto, por lo cual se espera que mantenga su tendencia ascendente. Como quedó dicho, los países muestran un descenso diferenciado de la población menor de 14 años en relación al total de la población, siendo Panamá y Costa Rica los países con los porcentajes más bajos. Guatemala es el país con mayor porcentaje de población joven. De mantenerse estas tendencias, el grado de envejecimiento en Costa Rica y Panamá será más rápido que en Honduras, Nicaragua y Guatemala.

**CUADRO 2.4**  
**CENTROAMÉRICA: ESCENARIO DEMOGRÁFICO, 2005 A 2100**  
(Habitantes por país)

País	2005	2010	2020	2050	2070	2100	Año en que se alcanza la máxima población	Nivel de máxima población
Belize	276 000	306 000	363 000	487 000	523 357	488 155	2079	528 210
Costa Rica	4 321 872	4 694 623	5 313 667	6 220 909	6 098 614	5 441 868	2055	6 243 867
El Salvador	6 049 412	6 183 002	6 601 411	8 076 089	8 390 773	7 757 477	2070	8 390 773
Guatemala	12 699 780	14 361 666	18 055 025	27 928 779	31 476 380	30 861 599	2080	31 970 995
Honduras	6 892 793	7 614 345	9 079 453	12 396 142	13 261 895	12 390 142	2070	13 261 895
Nicaragua	5 450 393	5 815 524	6 518 478	7 932 473	8 238 149	7 631 938	2070	8 238 149
Panamá	3 228 186	3 496 796	3 994 534	4 958 696	5 069 918	4 697 008	2065	5 077 015
Centroamérica	38 918 436	42 471 956	49 925 568	68 000 088	72 535 729	69 268 187	2075	73 189 990

Fuente: Elaboración propia con datos del CELADE.

**GRÁFICO 2.7**  
**CENTROAMÉRICA: ESCENARIO DEMOGRÁFICO, 2005 A 2100**  
(Habitantes por país)

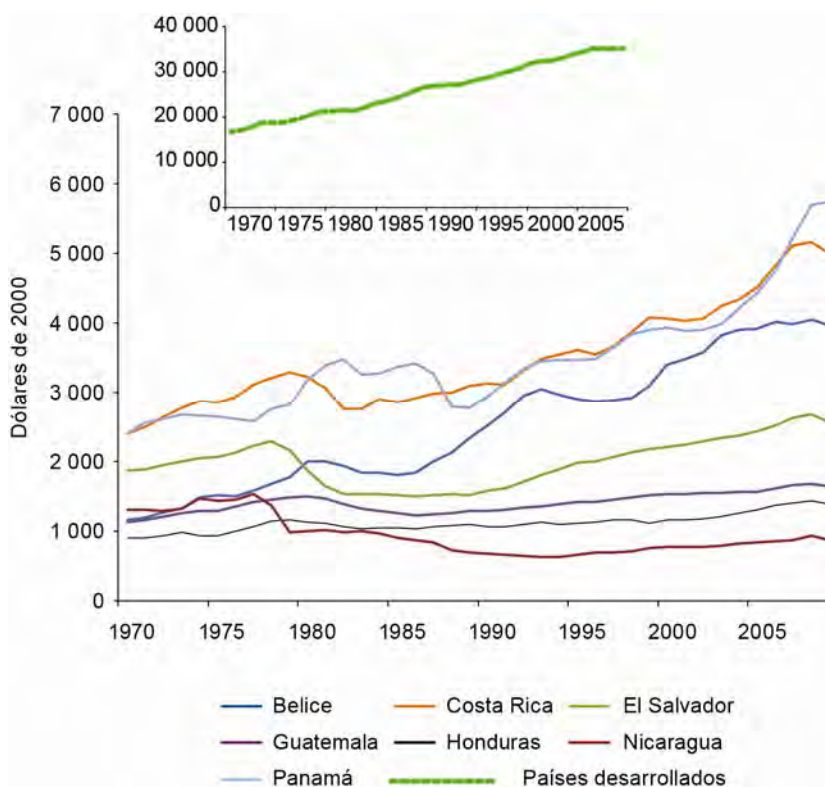


Fuente: Elaboración propia con datos del CELADE.

## 2.6 EVOLUCIÓN DEL PIB PER CÁPITA

En función de los escenarios macroeconómicos y demográficos, se establecieron estimaciones del PIB per cápita hasta el año 2100. El gráfico 2.8 presenta el PIB per cápita de los siete países, medido en dólares del año 2000, para el período 1970-2009. Para comparar, el recuadro superior izquierdo muestra el PIB per cápita promedio de los países desarrollados. Se observa que desde 1990 a la fecha, Costa Rica y Panamá muestran un nivel y trayectoria de ingreso per cápita similares, siendo los países con mayor dinamismo económico y mayor desarrollo. Belice se ubica en un nivel muy cercano, así que se le puede considerar como parte de este primer grupo.

**GRÁFICO 2.8**  
**CENTROAMÉRICA Y PAÍSES DESARROLLADOS: PIB PER CÁPITA, 1970 A 2009**  
(En dólares de 2000)



Nota: Las cifras de PIB para los años 2008 y 2009 corresponden a datos históricos observados que se presentan en la sección 2.2 de este capítulo, por lo que pueden no coincidir con las cifras de PIB pronosticadas y presentadas en la sección 2.3.

Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL y Banco Mundial.

Un segundo grupo es el de El Salvador, Guatemala y Honduras, si bien el primero ha mostrado un mayor crecimiento los últimos cinco años, con una ligera tendencia a separarse de los otros dos. Nicaragua tiene el ingreso per cápita más bajo y no ha logrado reducir la brecha con el resto de los países. Las trayectorias se confirman al considerar la diferencia entre los niveles de ingreso per cápita del primer grupo (Panamá, Costa Rica y Belice), que tiende a disminuir y a converger en un PIB per cápita superior a 4.000 dólares del año 2000 (con un rango de diferencia de 300 dólares). En El Salvador, Guatemala y Honduras, el PIB per cápita se ubica entre 1.000 dólares y

2.000 dólares. El rango de diferencia se ha estabilizado en 550 dólares, mostrando una ligera tendencia a la baja desde mediados de los años noventa.

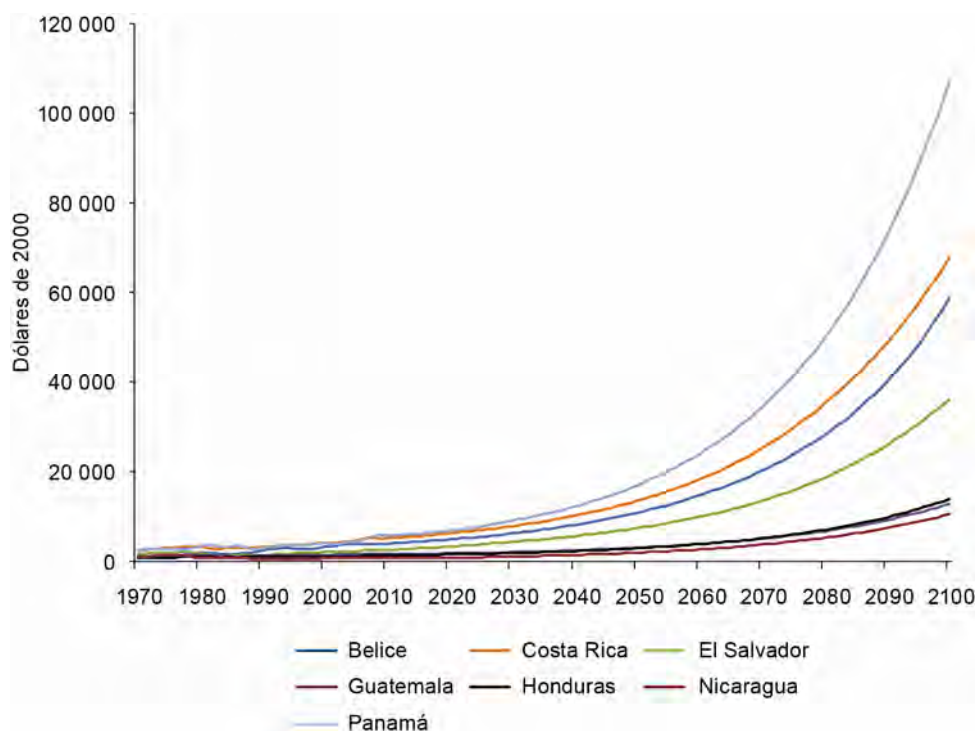
El cuadro 2.5 muestra los resultados de las trayectorias esperadas del PIB per cápita al 2100 para los siete países bajo el escenario base, que no considera cambios sustanciales en la estructura productiva. El gráfico 2.9 muestra los mismos resultados de las trayectorias esperadas del PIB per cápita para los siete países al 2100.

**CUADRO 2.5**  
**CENTROAMÉRICA: PIB PER CÁPITA, 2005 A 2100**  
(Miles de dólares de 2000)

País	2005	2010	2050	2100
Belize	3,92	4,35	11,69	63,44
Costa Rica	4,51	5,28	13,97	70,61
El Salvador	2,43	2,90	8,21	39,28
Guatemala	1,57	1,74	3,20	13,22
Honduras	1,31	1,51	3,26	15,00
Nicaragua	0,84	0,89	2,09	10,77
Panamá	4,45	5,02	14,71	93,38
Centroamérica	2,14	2,43	5,56	26,49

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la CEPAL.

**GRÁFICO 2.9**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DEL PIB PER CÁPITA CON ESCENARIO**  
**MACROECONÓMICO BASE, 1970 A 2100**  
(En dólares de 2000)



Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL.

Este análisis del conjunto de países de Centroamérica no encontró evidencia empírica de una tendencia hacia la convergencia del ingreso per cápita para el período 1970-2007. Sin embargo, entre países sí las hay. Tal es el caso de Panamá, Costa Rica y Belice, por un lado, y El Salvador, Guatemala y Honduras, por otro, mientras que Nicaragua se muestra rezagada. Para lograr una convergencia de ingreso per cápita similar al de los Estados Unidos hacia el año 2100, las tasas de crecimiento del PIB y PIB per cápita tendrían que ser superiores a las del escenario de alto crecimiento. Los países que tendrían que hacer un mayor esfuerzo para converger son Nicaragua, Honduras y Guatemala.

Es importante aclarar que los escenarios establecidos en el presente documento no representan compromisos con metas de crecimiento, sino que son ejercicios de prospectiva para estimar el costo económico del cambio climático al 2100 en el marco del proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica”.

## 2.7 CONSIDERACIONES FINALES

1. El cambio climático es uno de los temas más relevantes de la agenda política internacional. Para las economías de Centroamérica resulta crucial identificar y cuantificar los posibles impactos de este fenómeno a fin de instrumentar políticas de adaptación y mitigación que reduzcan los impactos negativos del fenómeno. Sin embargo, la valuación económica de dichos impactos es una tarea compleja que exige asumir supuestos no siempre seguros sobre la trayectoria de diversas variables. En este sentido, se requiere contar con una línea base de crecimiento económico de cada economía y cada uno de sus principales sectores productivos para hacer comparaciones con escenarios alternativos que consideren los impactos del cambio climático.
2. Durante el período 1960-2007, las economías de Centroamérica mostraron cambios estructurales en diversas etapas y trayectorias de crecimiento cambiantes. En los últimos 20 años la dinámica de crecimiento se ha recuperado, aunque no al nivel de los años sesenta. Puede decirse entonces que el crecimiento ha seguido un patrón fluctuante alrededor de una tendencia creciente, evolución que permite identificar los límites de crecimiento potencial a largo plazo.
3. Las limitaciones de información y los cambios estructurales en la mayoría de las series económicas llevaron a elegir métodos econométricos de estimación uniecuacional. Esto permitió reducir posibles efectos de transmisión del error entre las ecuaciones. Las estimaciones se apoyaron en la metodología de la econometría moderna, lo que incluye analizar el orden de integración de las series, la cointegración, el mecanismo de corrección de errores con un procedimiento de lo general a lo específico y el uso intensivo de pruebas de mala especificación y de diagnóstico. Con ello se buscó que las ecuaciones finales representaran una aproximación razonable de la evolución de las series. Los modelos se apoyan en los pronósticos generados por modelos de series de tiempo y crecimiento potencial a largo plazo. Las estimaciones del modelo de corrección de errores son consistentes con los pronósticos de los modelos de series de tiempo y las bandas de crecimiento potencial.
4. La trayectoria de largo plazo del PIB de los países de Centroamérica tiende ajustarse con la acumulación de capital. Asimismo, “shocks” asociados al sistema financiero tendrán impactos en las fluctuaciones de crecimiento a corto plazo. El sector energético tiene gran importancia en el desempeño económico de la región.

5. Como resultado de estimaciones econométricas se obtuvieron tres escenarios de pronóstico para la tasa de crecimiento del PIB de las economías de la región al año 2100: escenario base, escenario de bajo crecimiento y escenario de alto crecimiento. El escenario base asume una dinámica de formación de capital similar al promedio de las últimas dos décadas, un crecimiento estable del sector financiero y una tendencia a una mayor estabilidad macroeconómica (en términos de inflación), considerando a la energía como insumo de la producción. El escenario de bajo crecimiento asume una probabilidad de 20% de que las tasas de crecimiento sean menores. En contraste, el escenario de alto crecimiento estima razonable un nivel de probabilidad de 10% de que la economía de Centroamérica crezca a tasas de crecimiento elevadas.
6. Bajo el escenario base se espera que el crecimiento promedio anual para el período 2008-2100 sea 3,59% para Belice, 3,09% para Costa Rica, 3,22% para El Salvador, 3,18% para Guatemala, 3,17% para Honduras, 3,07% para Nicaragua y 3,53% para Panamá, con un promedio regional de 3,25%. Estos escenarios no representan compromisos con metas de crecimiento, sino son ejercicios de prospectiva para estimar el costo económico del cambio climático al 2100 en el marco del proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica”.
7. El escenario poblacional de CELADE al 2100 sugiere que la población de Centroamérica sería de aproximadamente 68 millones de personas en el 2050, llegará a su máximo el 2075 con 73 millones y declinará hasta cerca de 69 millones hacia el 2100. Esto implicaría un aumento del 75% al año 2050, 86% al año 2070 y 78% al año 2100 respecto al nivel de población del año 2005 (véanse el cuadro 2.4 y el gráfico 2.7). Los países de Centroamérica tendrán una expansión importante de los niveles de población en el período 2005-2020, destacando Guatemala con una tasa de crecimiento de 2,3%, seguida por Honduras y Belice con 1,8% y 1,7%, respectivamente. En un tercer grupo se ubicarán Costa Rica, Nicaragua y Panamá con una tasa promedio de 1,2% anual. El Salvador será el país con menor ritmo de crecimiento demográfico con una tasa de 0,65%. Todos los países describen una curva tipo U-invertida, indicando que en el presente siglo alcanzarán su nivel máximo de población, iniciarán una etapa de estabilización y luego una tendencia descendente. Este límite será alcanzado en fechas diferentes. Costa Rica será el primero en alcanzarlo, en el 2055 y Guatemala será el último, en el 2080.
8. En función de los escenarios macroeconómicos y demográficos, se establecieron estimaciones del PIB per cápita al 2100 en dólares a precios constantes del año 2000. Bajo el escenario base, las trayectorias esperadas son 63.400 para Belice, 70.600 para Costa Rica, 39.300 para El Salvador, 13.200 para Guatemala, 15.000 para Honduras, 10.800 para Nicaragua y 93.400 para Panamá.
9. No se encontró evidencia empírica de una tendencia a la convergencia del ingreso per cápita en Centroamérica para el período 1970-2007. Pero entre países sí se observan tendencias en este sentido. Tal es el caso de Panamá, Costa Rica y Belice, por un lado, y El Salvador, Guatemala y Honduras por el otro. Nicaragua muestra el mayor rezago. Para lograr una convergencia de ingreso per cápita similar al de los Estados Unidos hacia el 2100, las tasas de crecimiento del PIB y PIB per cápita de los países tendrían que ser superiores a las del escenario de alto crecimiento. Los países que tendrían que hacer un mayor esfuerzo para converger son Nicaragua, Honduras y Guatemala.



### 3. ESCENARIOS DE CAMBIO DE USO DE TIERRA

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta los resultados de la construcción de un escenario tendencial de cambio de uso de tierra para Centroamérica hasta el año 2100. El ejercicio exige un modelaje georeferenciado, para lo cual se aplicó el modelo Cambio de uso de la tierra y sus efectos (*Change of Land Use and its Effects*, CLUE por sus siglas en inglés), modelo dinámico que explicita espacialmente el cambio de uso de la tierra por demandas de las diferentes clases de uso consideradas, sobre la base de diversos factores explicativos de tales cambios. En este capítulo se expone un resumen del esquema metodológico, los insumos requeridos por el modelo, consideraciones sobre su aplicación, los resultados obtenidos y las conclusiones y recomendaciones.

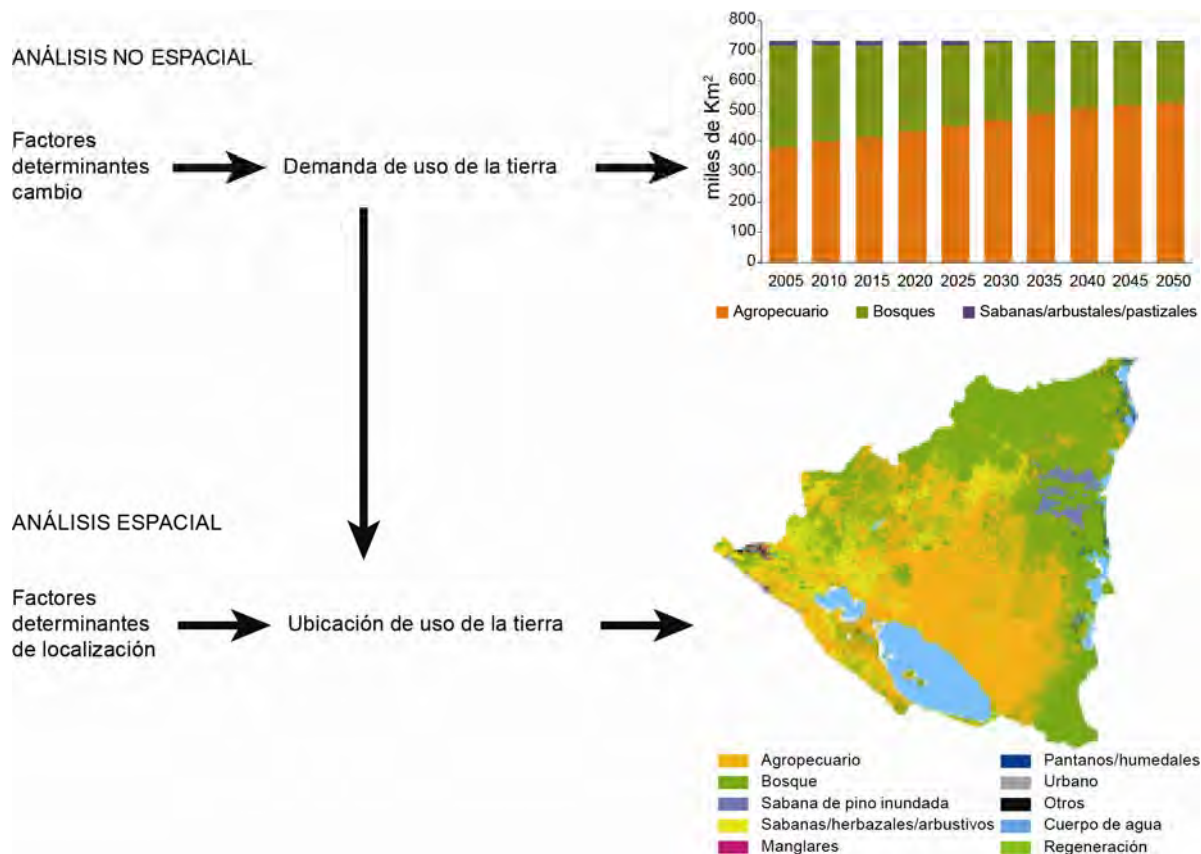
#### 3.2 METODOLOGÍA

El modelado de cambios de uso de tierra se efectuó mediante el modelo CLUE-S por sus siglas en inglés (*Change of Land Use and its Effects at Small Scale*) (Verburg y otros, 2002), versión del modelo CLUE original (Veldkamp y Fresco, 1996). Desde su creación, este modelo ha sido aplicado en diversos estudios de países como herramienta para tomadores de decisión e involucrados en los procesos de cambio de uso de tierra, así como para explorar posibles cambios bajo diferentes escenarios de desarrollo.

El procedimiento metodológico tiene dos etapas. La primera, denominada análisis no espacial, consiste en calcular los diferentes tipos de demanda de uso de tierra, es decir, cuantificar las áreas requeridas por tipo de uso por cada año futuro de análisis. Esta cuantificación se basa en modelos económicos o extrapolaciones de tendencias observadas. En esta etapa se definen los cambios de uso de tierra a través del tiempo. La segunda etapa consiste en la distribución geográfica de las demandas, donde el modelo se aplica para distribuir los cambios espacialmente, los cuales resultan asignados sobre la base de relaciones empíricas entre un tipo de uso y los factores biofísicos y socioeconómicos imperantes en un punto determinado. Los resultados se presentan en forma de mapas (véase el diagrama 3.1).

El primer paso del modelado consistió en crear una base de datos de cobertura/uso actual de la tierra para cada país. Esta base de datos está constituida por mapas a nivel nacional, los cuales varían en temporalidad de la información, métodos de clasificación y escala. En la mayor parte de los casos se utilizaron mapas del Mapa de Ecosistema de Centroamérica, de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) (Banco Mundial y CCAD, 2000). Para el caso de Costa Rica se utilizaron mapas adicionales proporcionados por el Ministerio de Agricultura de Costa Rica (MAG) (1992) y el Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica (MINAET) (1997). En cuanto a la temporalidad, los mapas cubren diversos períodos entre 1992 (Costa Rica) y 2006 (Nicaragua y Honduras).

**DIAGRAMA 3.1**  
**ESQUEMA METODOLÓGICO DE MODELAJE DE USO DE TIERRA MEDIANTE**  
**EL MODELO CLUE-S**

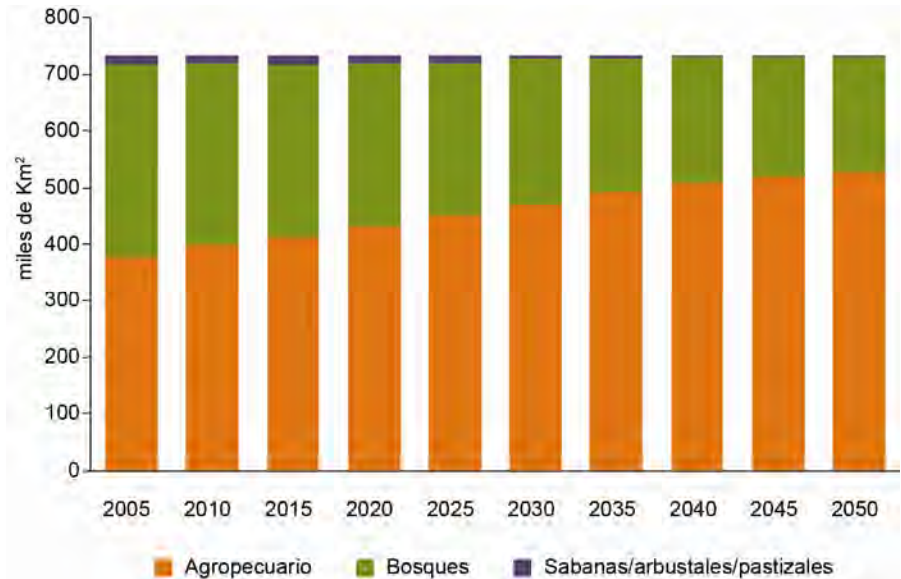


Fuente: Elaboración propia.

Sobre la base de los tipos de uso disponibles en los mapas, se identificaron cuatro tipos de interés para este estudio: cultivos, pastos manejados, bosques y un tipo que reúne pastos naturales, sabanas y arbustales. Las clases de cultivos y pastos manejados sólo pudieron ser diferenciadas en Guatemala; para el resto de los países se utilizó el tipo denominado uso agropecuario, que reúne todos los tipos de cultivos y los pastos manejados.

El proyecto preparó escenarios macroeconómico y poblacional tendenciales, los cuales asumen un desarrollo futuro con supuestos que se traducen en cambios en la sociedad, entre ellos el uso de la tierra, pero no cuentan con una distribución territorial (véase el cap. 2). Esto planteó la necesidad de establecer una línea base para el uso de la tierra. Así, se decidió utilizar los escenarios globales de uso de la tierra del GEO4 (PNUMA, 2007b), que cuantifican distintos tipos de uso de la tierra en Centroamérica y el Caribe y describen tendencias de desarrollo de la sociedad: Mercados Primero, Seguridad, Sostenibilidad Primero y Políticas Primero. Mediante la comparación de la evolución del uso de la tierra de las dos categorías más representativas, bosques y uso agropecuario, se observó que los tres primeros escenarios presentan una tendencia similar. Por consiguiente, se acordó calcular un escenario tendencial a partir de un promedio de los valores del uso de la tierra de estos tres escenarios (véase el gráfico 3.1).

**GRÁFICO 3.1**  
**CENTROAMÉRICA Y EL CARIBE: DISTRIBUCIÓN DEL USO DE LA TIERRA ESCENARIO TENDENCIAL**  
**DERIVADO DE LOS TRES ESCENARIOS GEO4, 2000 A 2050**  
(En miles de Km<sup>2</sup>)



Fuente: Elaboración propia en función de los tres escenarios GEO 4 (PNUMA, 2007b).

Con respecto a la escala de los escenarios, GEO4 cuantifica regiones, no países, así que se aplicaron los supuestos de Luijten, Miles y Cherrington (2006) para desagregar la demanda del escenario tendencial. Dado que los escenarios de GEO4 comprenden hasta el año 2050, se utilizó un segundo modelo, *International Futures* (IFs por sus siglas en inglés), para distribuir las demandas tendenciales por país hasta el año 2100 (Hughes, 2008). En relación con los tipos de uso de suelo, los mapas nacionales, el escenario tendencial y el modelo IFs emplean sistemas de clasificación diferentes. Por este motivo se estableció una equivalencia entre los tres, siguiendo el método de Luijten, Miles y Cherrington, como se muestra en el cuadro 3.1.

**CUADRO 3.1**  
**CENTROAMÉRICA: EQUIVALENCIA ENTRE LOS SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE USO**  
**DEL SUELO PARA LOS MODELOS UTILIZADOS**

CLASES GEO4 <i>Tasas de cambio regionales para escenario tendencial</i>	CLASES IFs <i>Tasas de cambio por país</i>	CLASES MODELADAS <i>Tasas de cambio para CLUE</i>
Agricultura (Agricultural land) Biocombustibles (Biofuels)	Cultivos (Crops) Pastoreo (Grazing)	Agropecuario
Bosques tropicales (Tropical Woodland, Tropical Forest) Sucesión secundaria (Regrowth Forest, Abandoned & Timber)	Bosque (Forests)	Bosque
Matorrales (Scrubland) Sabana (Savanna)	Otros (Other)	Pastizales naturales, arbustales, sabanas

Fuente: Elaboración propia.

El objetivo del modelo CLUE-S es la distribución espacial de las demandas de cada tipo de uso de tierra. Para lograrlo considera los conceptos de conectividad, jerarquía, estabilidad, resiliencia y otros factores. La localización de cambios de uso de la tierra se realiza con métodos estadísticos que estiman las relaciones matemáticas empíricas entre el tipo de uso actual y los factores que explican su ubicación específica. La selección de los factores explicativos fue realizada mediante una revisión de la bibliografía y de los resultados del estudio de Luijten, Miles y Cherrington (2006). La lista de los factores se presenta en el cuadro 3.2. El presente estudio relaciona el uso de la tierra en el año base de 2005 con los factores explicativos y asume la correcta representación de los procesos de conversión ocurridos hasta esa fecha y que éstos seguirán vigentes en el futuro.

**CUADRO 3.2.**  
**CENTROAMÉRICA: FACTORES EXPLICATIVOS DE LA LOCALIZACIÓN DEL USO DEL SUELO**  
**EMPLEADOS EN EL ESTUDIO**

Variable	Fuente
1. Acceso a mercados	CIESIN, IFPRI y CIAT, 2004. Disponible en: CIESIN y otros, 2004.
2. Índice de Desarrollo Humano (IDH)	Información al año 2007. PNUD, 2007.
3. Elevación	Jarvis, H.i. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2009, en Jarvis y otros, 2009.
4. Pendiente (grados)	Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. Red vial. Base de Datos SIG de Mesoamérica / CCAD-BM 2002, en CCAD y Banco Mundial, 2010.
5. Número de meses secos consecutivos	ND
6. Capacidad de uso del suelo	CATIE, 2009.
7. Profundidad del suelo	CATIE, 2009.
8. Densidad de población	CIESIN y CIAT, 2004. Disponible en CIESIN y otros, 2004.
9. Precipitación promedio anual	Hijmans, Cameron, Parra, Jones y Jarvis, 2005, en Hijmans y otros, 2010.
10. Temperatura promedio anual	Hijmans, Cameron, Parra, Jones y Jarvis (2005), en Hijmans y otros, 2010.

Fuente: Elaboración propia.

Los factores identificados en el cuadro 3.2 permanecen constantes durante el período de análisis, salvo la densidad de población, por lo cual se aplicaron los factores de cambio poblacional estimados por CELADE-División de Población CEPAL para introducir el efecto del incremento poblacional (véase el cap. 2).

En este estudio se probó la utilidad de este modelaje para los cambios de uso de la tierra relacionados con escenarios de emisiones A2 y B2 para la temperatura y la precipitación. Estos escenarios fueron estimados como el promedio de los escenarios simulados con los modelos ECHAM5, GFDL CM2.0 y HADGEM1 para A2, y ECHAM4, GFDL R30 y HADCM3 para B2 (véase el cap. 1). Los escenarios futuros de ambas variables climáticas fueron proyectados para cada año entre 2005 y 2100 como promedio móvil de la anomalía climática de los 15 años anteriores y los 15

años posteriores a cada año. La anomalía climática fue estimada como la diferencia entre el clima simulado para cada año y la climatología de referencia simulada de WorldClim (1961-1990).<sup>1</sup>

El diseño de los mapas de cambio de uso de tierra de CLUE-S está determinado por: (a) políticas y restricciones espaciales, que identifican zonas de preferencia para la conversión de ciertos tipos de uso o su restricción; (b) reglas de conversión, que especifican las conversiones de usos de tierra permitidas y la facilidad con que pueden ocurrir; (c) factores explicativos o de ubicación, que identifican la idoneidad de la ocurrencia de cada tipo de uso. Estos tres componentes definen la configuración del modelo, que es específica para cada caso (para cada país en este estudio), pero que también permite explorar diversas posibilidades, según las preferencias, las políticas y los supuestos sobre cómo ocurrirán los cambios.

## CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

En el año 2005, el 41% de la región centroamericana estaba dedicada al uso agropecuario, 43% estaba cubierta por bosques, 12% cubierta por sabanas, arbustales y pastizales naturales, 0,5% correspondía a uso urbano y 3,6% estaba dedicada a otros usos, ya fuera no clasificados, o a categorías no consideradas en este estudio.

Es importante recalcar que todos los escenarios evaluados tienen las mismas demandas de uso de tierra como entrada en el modelaje distributivo. En las corridas hacia el año 2100, las demandas muestran diferencias, ya que en muchos casos el modelo no cumple la meta especificada, sino que llega al escenario más cercano dentro del margen de error especificado (hasta un máximo de 1% del área total del país). Por ello es menos confiable en las categorías con áreas menores, donde el margen de error puede resultar importante (por ejemplo, en uso urbano). En este sentido, el modelaje del escenario tendencial impuso demandas que pronostican un aumento del uso agropecuario hasta en 62%. Este uso se incrementó en 50% en el modelaje. En cambio, la cobertura boscosa, tanto como demanda y como resultado, se reduce en 30%. En el caso de las sabanas, pastizales y arbustales, la demanda implicó una reducción de hasta 2%, pero la reducción encontrada en los resultados de la distribución geográfica fue de 81%.

Debido a que se utilizaron los escenarios de cambio climático a nivel de país, la anomalía en precipitación y temperatura asume que las variaciones climáticas son las mismas para todo el territorio nacional, sin tomar en cuenta su variación geográfica. Aunque el número de meses secos consecutivos también es una variable afectada por el cambio climático, no se contó con los datos para realizar su estimación, por lo cual esta variable se tuvo que mantener constante en el tiempo considerado en el modelaje.

En cuanto al uso de tierras boscosas, se dejaron fuera tipos de bosque específicos porque es probable que la aparición de tipos de bosque no obedezca a los determinantes utilizados. Los estudios de cambios en las composiciones de los ecosistemas requieren modelos ecológicos o hidroecológicos (Neilson, 1995; Krinner y otros, 2005). Estos efectos serán explorados en los estudios previstos de ecosistemas y bosques.

---

<sup>1</sup> En este estudio se utilizó la climatología de WorldClim porque cuenta con una distribución georeferenciada a la escala requerida. Es la misma climatología utilizada en los escenarios municipales del proyecto.



Otro aspecto relacionado con los tipos de bosque es su regeneración debido al abandono del uso agrícola previo. Para representar esta situación en el estudio, se asume que estos suelos pasan a ser bosques luego de veinte años de abandono agrícola. Períodos menores quedan clasificados como cobertura en regeneración, que son las áreas que empezaron su proceso de sucesión sin ser bosques todavía, sino en un estado más temprano.

Se encontró que las diferencias entre el escenario tendencial y los escenarios de cambio climático no pueden ser deducidas con este modelo porque las relaciones estadísticas entre uso de la tierra y sus factores explicativos no capturan la interacción buscada. La inclusión de las variables climáticas como factores explicativos no mejoró la agudeza predictiva del modelo. No obstante, el modelo confirma otros factores e interacciones, incluyendo los socioeconómicos, que gobiernan la presencia de agricultura y cobertura boscosa. Evidencia de esto son los cambios que pueden asociarse directamente a factores como las carreteras. Tal es el caso de la tierra entre las localidades de Bocas del Toro y Chiriquí, en el oeste de Panamá, donde la pérdida de cobertura forestal y de continuidad del bosque está relacionada con la construcción de carreteras en la zona.

Aunque es posible que entre los factores del cambio de uso de suelo efectivamente predominen los socioeconómicos, no se puede descartar los siguientes:

- que el modelo no responde a los factores climáticos, aunque éstos puedan existir, en cuyo caso habrá que ajustar el primer paso del modelaje, en el cual se determinan los cambios o “demandas”;
- que los impactos de cambios en temperatura y precipitación habrán de modelarse por los canales de impactos en ecosistemas y sus especies, como en los bosques nubosos, pluvial montano, tropical húmedo y seco tropical;
- el modelaje deberá incluir los canales de impacto indirecto del cambio climático por vía de la economía: como incentivos o desincentivos de la agricultura y otras actividades destructivas de los bosques en diferentes zonas, con la consecuente repercusión en las “demandas” que se deben modelar.

Tipos de uso de tierra como manglares, pantanos, humedales, zonas de producción acuática y la clase “otros usos” –que no pudieron ser identificados en los mapas– no fueron incluidos en el modelo porque su presencia está gobernada por factores diferentes a los utilizados en este estudio.

Los problemas de representación también afectan al modelo del uso agropecuario. A causa de las diversas metodologías de clasificación del uso de la tierra y el propósito de los mapas, la diferencia entre los cultivos y los pastos manejados se pierde, lo que obliga a manejar categorías muy generales.

Al calcular las relaciones entre un uso de tierra específico y sus determinantes (análisis estadístico), se excluyeron las áreas protegidas. No obstante, se incluyen en el modelaje sin considerar su categoría de protección. Por ende, no se incluye el posible efecto disuasivo al cambio de uso de tierra que las medidas de protección pudieran tener. La complejidad y variabilidad de estos efectos en cada país queda fuera del alcance del estudio, pero podrán ser explorados por los análisis de opciones de políticas.

### 3.3 ESCENARIO DE CAMBIO DE USO DE TIERRA PARA CENTROAMÉRICA A 2100

Utilizando la metodología descrita, se generaron escenarios tendenciales de cambio de uso de tierra sin cambio climático a 2100 para la región y cada país. A nivel de la región se puede hacer las siguientes observaciones sobre la base de un análisis de los mapas generados y los resultados cuantitativos:

- La mayoría de los cambios ocurren entre el presente y el año 2050, con la pérdida de aproximadamente la tercera parte de la cobertura del bosque que existía en el año 2005. En el mismo período se pierde aproximadamente el 80% de pastizales, sabanas y arbustales.
- El área agropecuaria crece en aproximadamente 50% hasta el año 2050. Dado que las zonas de bosque más fragmentadas en la actualidad han sido las más afectadas por la deforestación, el modelo las “deforesta” primero. Entonces, se observa una tendencia de pérdida de parches de bosques, pastizales y arbustales, sobre todo parches aislados y, en menor grado, zonas continuas (véanse el cuadro 3.3 y el mapa 3.1).

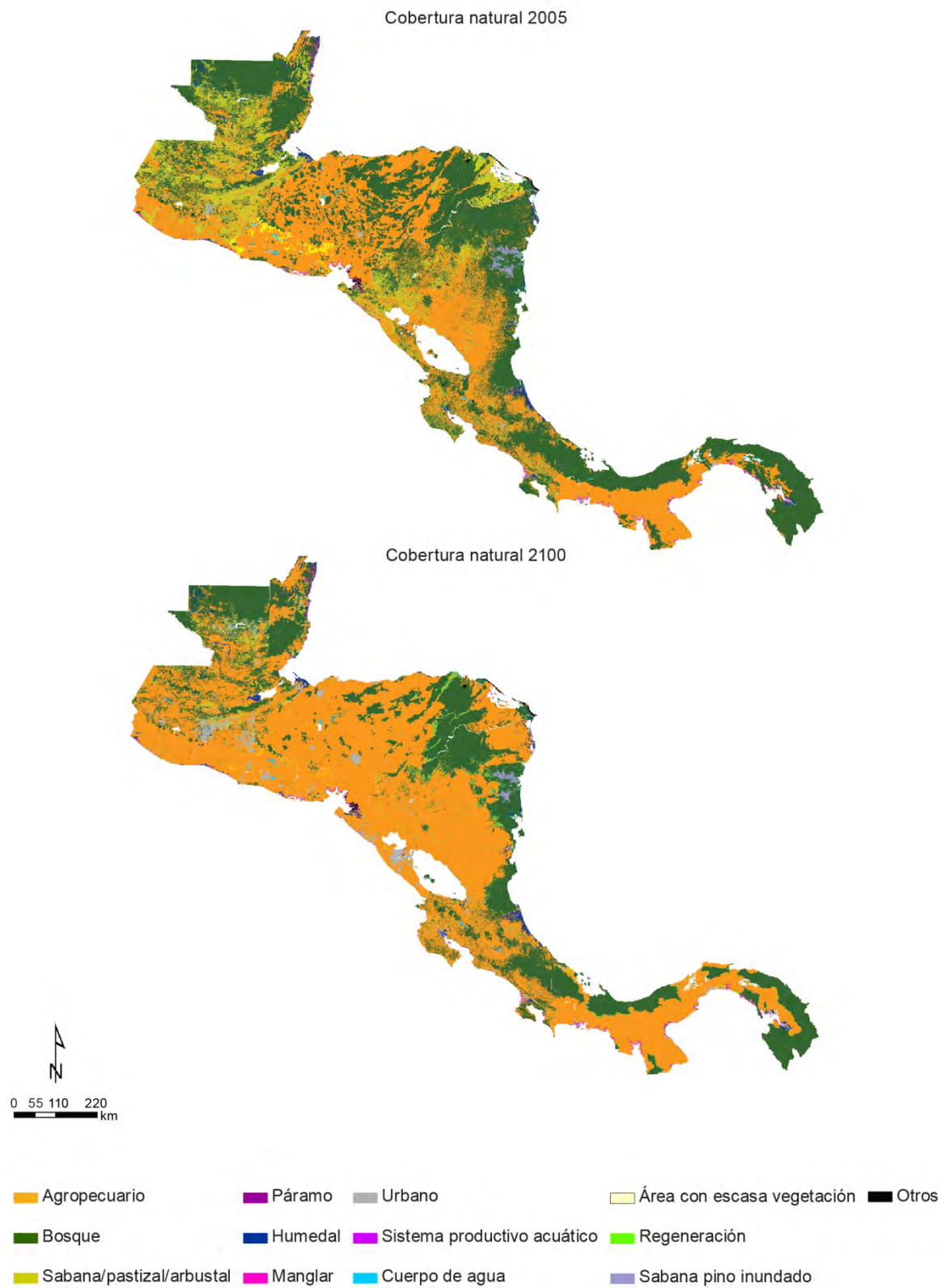
**CUADRO 3.3**  
**CENTROAMÉRICA: ESCENARIO TENDENCIAL DE CAMBIO DE USO DE TIERRA**  
**AL AÑO 2100**

(En miles de hectáreas y porcentajes)

Cobertura	Año base	Escenario tendencial	Cambio tendencial vs año base	
	2005	2100	Miles ha	% respecto al año base
Agropecuaria y pastoreo	20 492,7	30 975,6	10 482,9	51,15
Bosques	21 324,4	14 565,5	-6 758,9	-31,70
Pastizales/sabanas/arbustales	6 043,4	1 055,7	-4 987,7	-82,53
Cuerpos de agua	274,6	274,6	0	0
Urbano	258,1	1 293,5	1 035,4	401,11
Manglares	336,8	336,8	0	0
Humedales/pantanos	546,9	546,9	0	0
Otros	166,6	166,6	0	0
Regeneración	241,3	469,6	228,3	94,58
Total	49 684,8	49 684,8	0	-

Fuente: Estimación propia, sobre la base del modelo CLUE-S.

**MAPA 3.1**  
**CENTROAMÉRICA: ESCENARIO DE CAMBIO EN USO DE LA TIERRA,**  
**2005 (BASE) Y 2100 (TENDENCIAL)**



Fuente: Elaboración propia.

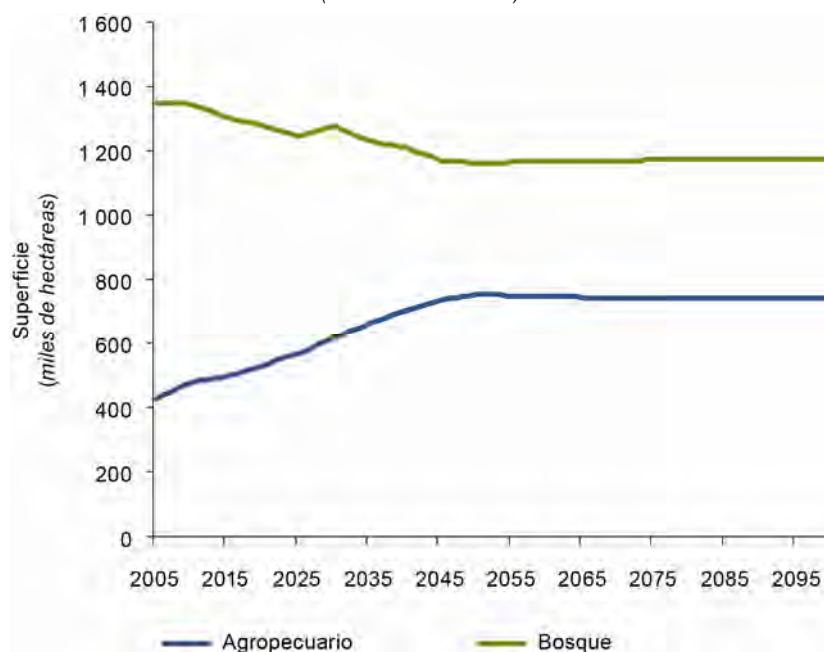
## RESULTADOS NACIONALES

A nivel de países destacan las siguientes observaciones con base en un análisis de los mapas y los resultados cuantitativos con las reservas indicadas.

### BELICE:

- Al año 2100, en el escenario tendencial, se perdería gran parte de las sabanas y arbustales, aunque permanecerían grandes áreas boscosas. Las más compactas del sur del país se perderían. Se perdería aproximadamente el 15% del bosque (190 hectáreas).
- El área agropecuaria crecería casi 72%, equivalente a 310 hectáreas.
- Se perdería el 80% de la cobertura de sabana y herbazal.
- El cambio impuesto en las metas de uso de suelo urbano resulta sobrestimado en un 140% en el escenario tendencial.
- La regeneración del bosque es total en algunas áreas que no tuvieron bosque en 2005.
- Los mayores cambios ocurrirían hasta 2050, pero en la segunda parte del siglo la relación entre bosque y área agropecuaria se estabilizaría (véanse el mapa 3.2, el gráfico 3.2 y el cuadro 3.4).

**GRÁFICO 3.2**  
**BELICE: EVOLUCIÓN DE LAS DEMANDAS IMPUESTAS AL MODELO**  
**BAJO ESCENARIO BASE (TENDENCIAL), 2005 A 2100**  
(En miles de hectáreas)



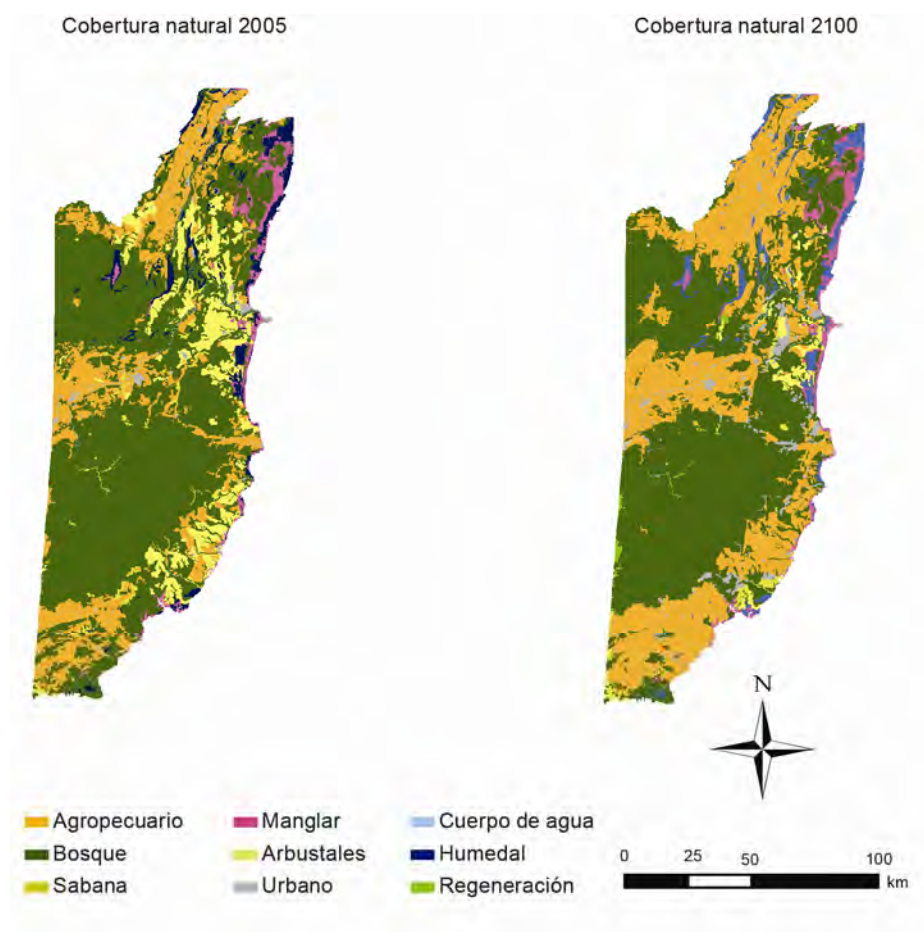
Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 3.4**  
**BELICE: RESULTADOS DEL MODELAJE AL AÑO 2100**  
*(En miles de hectáreas y porcentajes)*

Cobertura	Año base	Escenario tendencial	Cambio escenario tendencial vs año base		
	2005	2100	Miles ha	% respecto al año base	Tasa de crecimiento anual
Agropecuario	0,43	0,73	0,31	72,07	0,6
Bosque	1,34	1,15	-0,19	-14,55	-0,2
Sabana	0,19	0,04	-0,15	-81,81	-1,8
Manglar	0,06	0,06	0	0	0
Arbustales	0,03	0,02	-0,01	-15,61	-0,2
Urbano	0,02	0,06	0,04	236,91	1,3
Cuerpo de agua	0,01	0,01	0	0	0
Humedal	0,09	0,09	0	0	0
Regeneración	-	0,01	0,01	-	-
Total	2,16	2,16	0	-	-

Fuente: Estimación propia, sobre la base del modelo CLUE-S.

**MAPA 3.2**  
**BELICE: ESCENARIO DE CAMBIO EN USO DE LA TIERRA,**  
**2005 (BASE) Y 2100 (TENDENCIAL)**



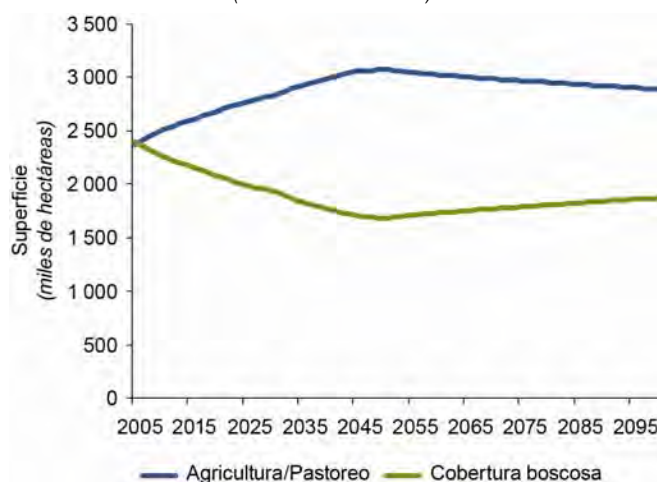
Fuente: Elaboración propia.



**COSTA RICA:**

- Al año 2100 bajo el escenario tendencial, el bosque se reduciría en casi 30%, una pérdida de 685,9 mil hectáreas. Se espera un aumento del área agropecuaria superior al 20%, equivalente a 521,1 mil hectáreas. Es importante recordar que los escenarios se generan de los de GEO4 como escenario tendencial y no reflejan impactos de esfuerzos explícitos en políticas y acciones para reducir la deforestación.
- La pérdida de cobertura forestal sería dispersa en el territorio nacional. Esto se explica en parte porque el mapa de uso del suelo presenta unidades de bosque más pequeñas que otros países.
- El área urbana en el escenario tendencial, al año 2100, sobrepasaría la meta requerida en 1.000 hectáreas, pero su cobertura es muy pequeña respecto al área total.
- Las áreas de regeneración en el mapa de uso del suelo del año 2005 corresponden a estados de sucesión secundaria, los cuales son los que pierden más cobertura frente a la agricultura en el 2100. La regeneración parece ocurrir en las áreas aledañas a carreteras y en la Gran Área Metropolitana. Esto parece ser efecto del modelo, que afecta alrededor de 100.000 hectáreas.
- En el escenario tendencial, la mayor pérdida de bosque y la mayor expansión del área agropecuaria ocurrirían en la primera mitad del siglo; después habría una leve recuperación de la zona boscosa (véanse el gráfico 3.3, el cuadro 3.5 y el mapa 3.3).

**GRÁFICO 3.3**  
**COSTA RICA: EVOLUCIÓN DE LAS DEMANDAS IMPUESTAS AL MODELO**  
**BAJO ESCENARIO BASE (TENDENCIAL), 2005 A 2100**  
 (En miles de hectáreas)



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 3.5**  
**COSTA RICA: RESULTADOS DEL MODELAJE AL AÑO 2100**  
 (En miles de hectáreas y porcentajes)

Cobertura	Año base	Escenario tendencial	Cambio escenario tendencial vs año base		
	2005	2100	Miles ha	% respecto al año base	Tasa de crecimiento anual
Agricultura/Pastoreo	2 362,8	2 883,9	521,1	22,05	0,2
Bosque	2 401,8	1 715,9	-685,9	-28,56	-0,4
Pantano/humedal	146,9	146,9	0	0	0

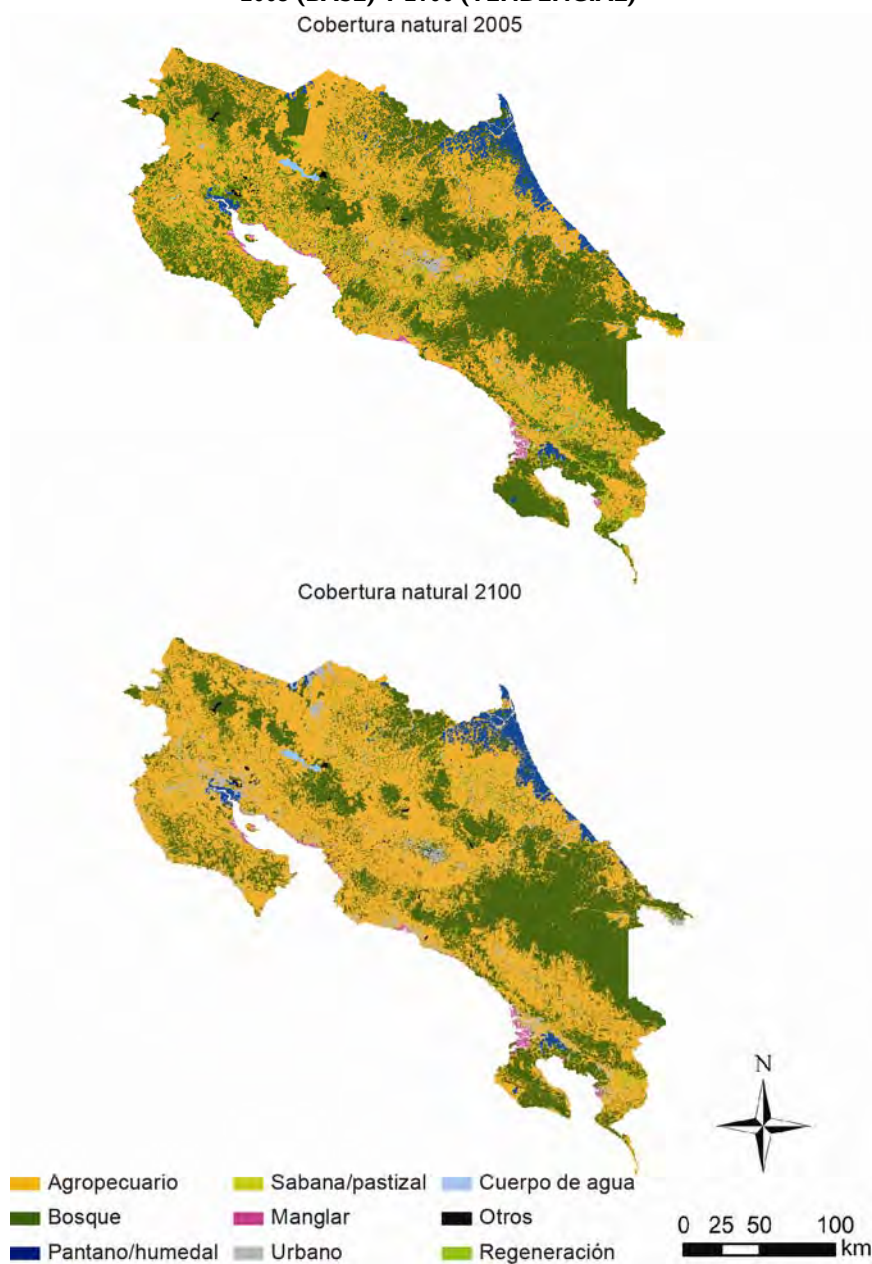
(Continúa)

(Continuación Cuadro 3.5)

Sabanas/Pastizales	50,0	0	-50,0	-100	-13,0
Manglar	29,9	29,9	0	0	0
Urbano	34,0	140,4	106,4	313,46	1,5
Cuerpo de agua	34,2	34,2	0	0	0
Otros	25,3	25,3	0	0	0,2
Regeneración	-	58,4	58,4	-	-
Total	5 035,0	5 035,0	0	-	-

Fuente: Estimación propia, sobre la base del modelo CLUE-S.

**MAPA 3.3**  
**COSTA RICA: ESCENARIO DE CAMBIO EN USO DE LA TIERRA,**  
**2005 (BASE) Y 2100 (TENDENCIAL)**

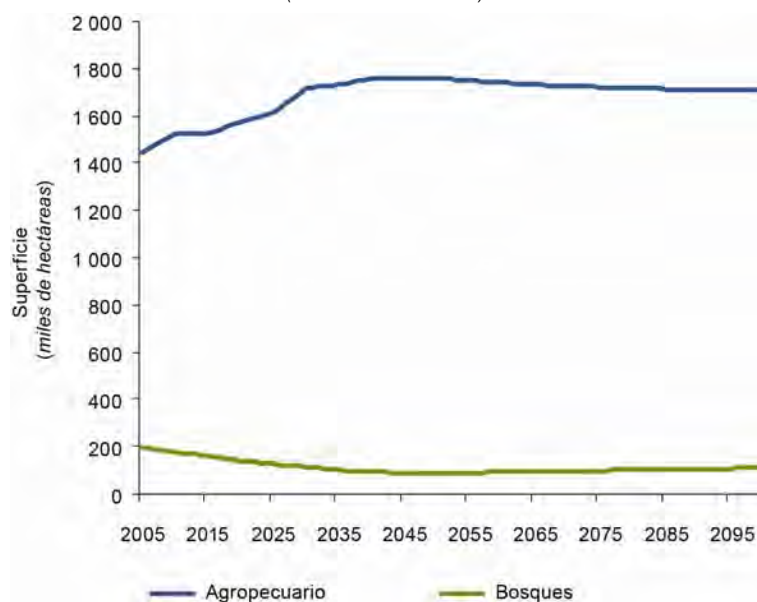


Fuente: Elaboración propia.

**EL SALVADOR:**

- Al año 2100, bajo el escenario tendencial, el área agropecuaria crecería 20%, equivalente a 290,6 mil hectáreas, en detrimento de las sabanas y arbustales, que tendrían pérdidas de más del 80%, de los bosques, que perderían aproximadamente un 60%. Todas las áreas perderían bosque, aunque en las zonas montañosas limítrofes con Honduras la pérdida sería menor.
- En las zonas de humedales costeros habría una regeneración vegetal modesta.
- Las pérdidas mayores de bosque ocurrirían en las próximas décadas, pero después se estabilizarían (véanse el gráfico 3.4, el cuadro 3.6 y el mapa 3.4).

**GRÁFICO 3.4**  
**EL SALVADOR: EVOLUCIÓN DE LAS DEMANDAS IMPUESTAS AL MODELO**  
**BAJO ESCENARIO BASE (TENDENCIAL), 2005 A 2100**  
 (En miles de hectáreas)



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 3.6**  
**EL SALVADOR: RESULTADOS DEL MODELAJE AL AÑO 2100**  
 (En miles de hectáreas y porcentajes)

Cobertura	Año base	Escenario tendencial	Cambio escenario tendencial vs año base		
	2005	2100	Miles ha	% respecto al año base	Tasa de crecimiento anual
Agropecuaria	1 442,8	1 733,4	290,6	20,14	0,2
Bosques	190,5	77,2	-113,3	-59,46	-0,9
Sabanas y arbustales	295,2	53,2	-242,0	-81,97	-1,8
Pantanos y humedales	7,9	7,9	0	0	0
Manglares	23,8	23,8	0	0	0
Urbano	23,2	87,9	64,7	278,28	1,4

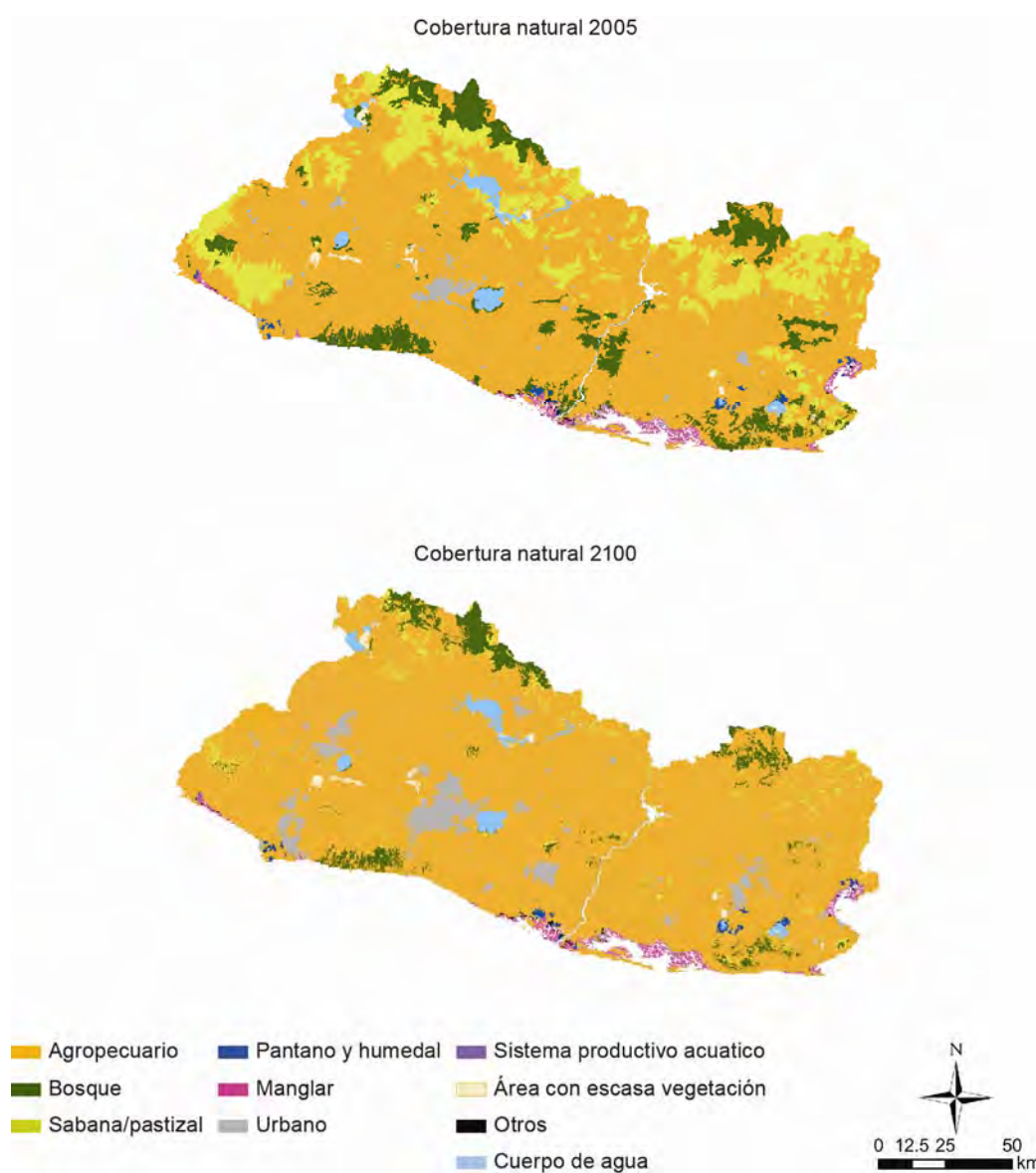
(Continúa)

(Continuación Cuadro 3.6)

Sistemas productivos acuáticos	1,6	1,6	0	0	0
Áreas con escasa vegetación	9,4	9,4	0	0	0
Otros	2,1	2,1	0	0	0
Cuerpos de agua	32,9	32,9	0	0	0
Regeneración	-	-	-	-	-
Total	2 029,3	2 029,3	0	-	-

Fuente: Estimación propia, sobre la base del modelo CLUE-S.

**MAPA 3.4**  
**EL SALVADOR: ESCENARIO DE CAMBIO EN USO DE LA TIERRA,**  
**2005 (BASE) Y 2100 (TENDENCIAL)**

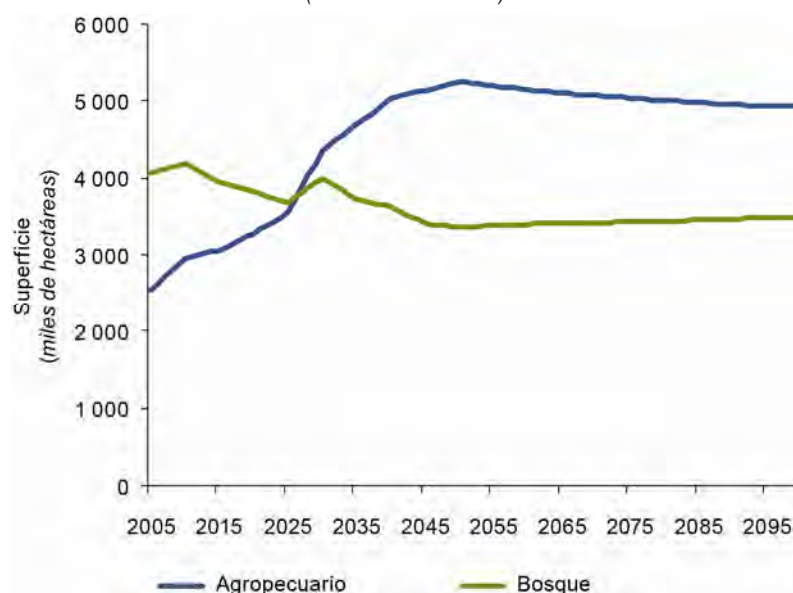


Fuente: Elaboración propia.

## GUATEMALA:

- Al año 2100, bajo el escenario tendencial, se perdería gran parte de los pastizales/sabanas y arbustales, mientras que las áreas agrícolas y de pastoreo aumentarían. La pérdida de bosques sería dispersa en todo el país. Se perdería aproximadamente un 15% del bosque, el 85% de pastizales/sabanas y el 80% de arbustales. El área agrícola casi se doblaría (97%) y el área de pastoreo crecería más del 70%.
- El área urbana excedería en 8% el cambio impuesto en la meta. Habría un crecimiento fuerte alrededor de los núcleos existentes y entre los departamentos de Jutiapa y Chiquimula (Trifinio y alrededores).
- La regeneración vegetal sería insignificante.
- Los mayores cambios de uso de tierra ocurrirían durante las próximas décadas, antes del 2050 (véanse el gráfico 3.5, el cuadro 3.7 y el mapa 3.5).

**GRÁFICO 3.5**  
**GUATEMALA: EVOLUCIÓN DE LAS DEMANDAS IMPUESTAS AL MODELO BAJO**  
**ESCENARIO BASE (TENDENCIAL), 2005 A 2100**  
 (En miles de hectáreas)



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 3.7**  
**GUATEMALA: RESULTADOS DEL MODELAJE AL AÑO 2100**  
 (En miles de hectáreas y porcentajes)

Cobertura	Año base	Escenario tendencial	Cambio escenario tendencial vs año base		
	2005	2100	Miles ha	% respecto al año base	Tasa de crecimiento anual
Agricultura	2 541,8	5 016,8	2 475,0	97,37	0,7
Pastoreo	436,3	750,2	313,9	71,95	0,6
Bosques	4 067,2	3 453,4	-613,8	-15,09	-0,2
Pastizales/Sabanas	935,5	127,3	-808,2	-86,39	-2,1

(Continúa)

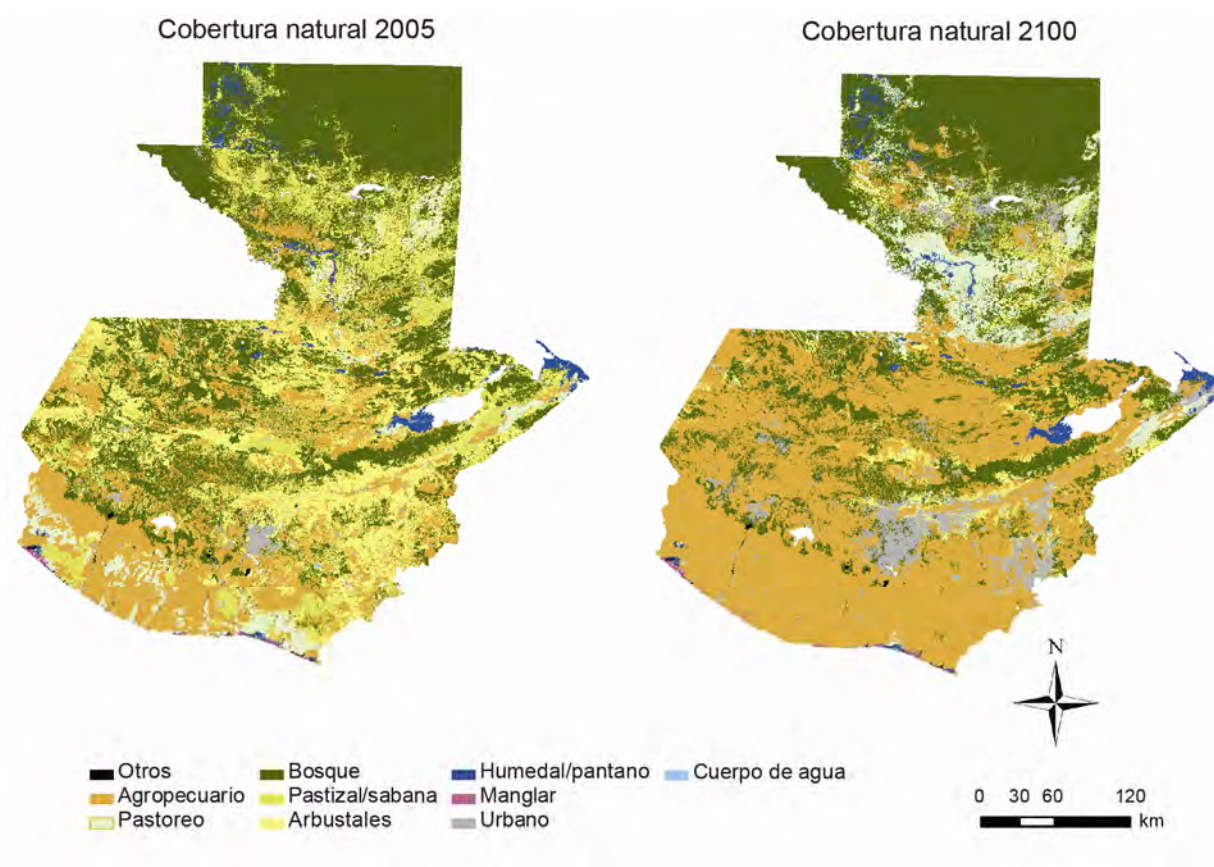


(Continuación Cuadro 3.7)

Arbustales	2 392,0	493,7	-1 898,3	-79,36	-1,6
Humedales/Pantanos	191,2	191,2	0	0	0
Manglares	16,3	16,3	0	0	0
Urbano	111,2	642,7	531,4	477,69	1,9
Cuerpo de agua	66,1	66,1	0	0	0
Otros	13,3	13,3	0	0	0
Regeneración	-	-	-	-	-
Total	10 771,0	10 771,0	0	-	-

Fuente: Estimación propia, sobre la base del modelo CLUE-S.

**MAPA 3.5**  
**GUATEMALA: ESCENARIO DE CAMBIO EN USO DE LA TIERRA, 2005 (BASE) Y 2100 (TENDENCIAL)**



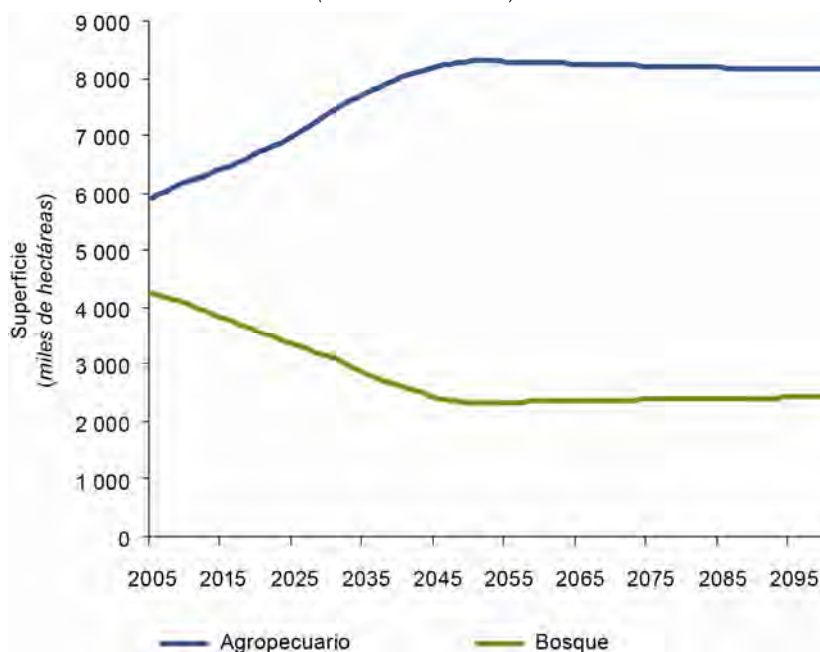
Fuente: Elaboración propia.

## HONDURAS:

- Al año 2100, bajo el escenario tendencial, el área agropecuaria crecería casi un 40%, y el bosque se reduciría más de un 45%. Al 2100 se perderían todas las sabanas y herbazales en la Mosquitia.
- La meta del área urbana está relativamente bien representada.
- En el escenario tendencial ocurriría una regeneración de bosque hacia el 2100 en los departamentos de Colón, Gracias a Dios y Olancho, principalmente en los valles de los ríos

- Bajo este mismo escenario, la mayor pérdida de bosque y la mayor expansión del área agropecuaria ocurrirían en la primera mitad del siglo (véanse el gráfico 3.6, el cuadro 3.8 y el mapa 3.6).

**GRÁFICO 3.6**  
**HONDURAS: EVOLUCIÓN DE LAS DEMANDAS IMPUESTAS AL MODELO BAJO ESCENARIO**  
**BASE (TENDENCIAL), 2005 – 2100**  
 (En miles de hectáreas)



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 3.8**  
**HONDURAS: RESULTADOS DEL MODELAJE AL AÑO 2100**  
 (En miles de hectáreas y porcentajes)

Cobertura	Año base	Escenario tendencial	Cambio escenario tendencial vs año base		
	2005	2100	Miles ha	% respecto al año base	Tasa de crecimiento anual
Sistema agropecuario	5 921,3	8 196,3	2 275,0	38,42	0,3
Bosques	4 239,0	2 288,4	-1 950,6	-46,02	-0,6
Sabana/Herbazal	560,0	0	-560,0	-100	-13,0
Manglar	39,8	39,8	0	0	0
Pantano/Humedal	6,4	6,4	0	0	0
Urbano	28,5	102,3	73,8	259,46	1,4
Cuerpo de agua	36,8	36,8	0	0	0
Otros	68,6	68,6	0	0	0

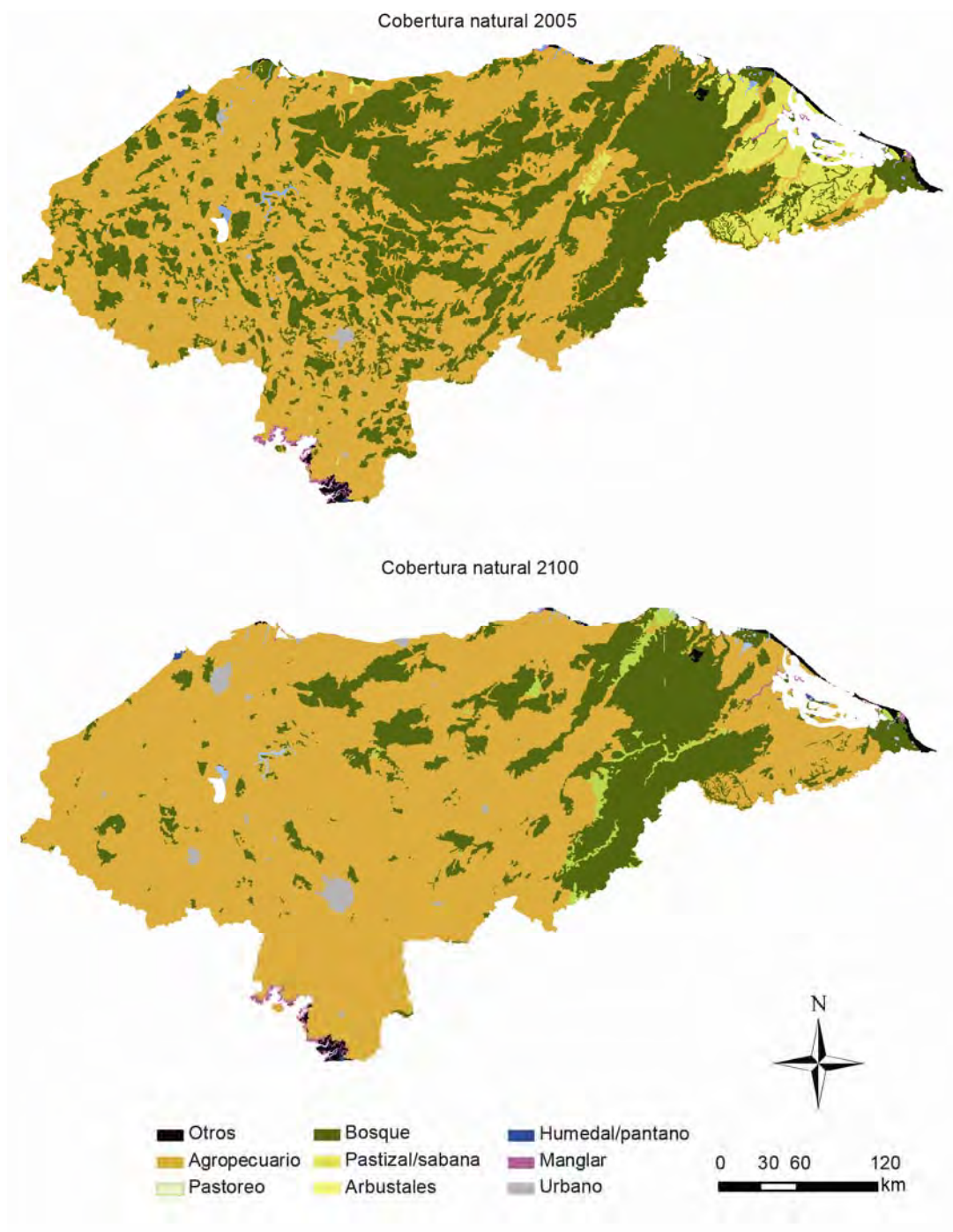
(Continúa)

(Continuación Cuadro 3.8)

Regeneración	-	161,7	161,7	-	-
Total	10 900,4	10 900,4	0	-	-

Fuente: Estimación propia, sobre la base del modelo CLUE-S.

**MAPA 3.6**  
**HONDURAS: ESCENARIO DE CAMBIO EN USO DE LA TIERRA,**  
**2005 (BASE) Y 2100 (TENDENCIAL)**

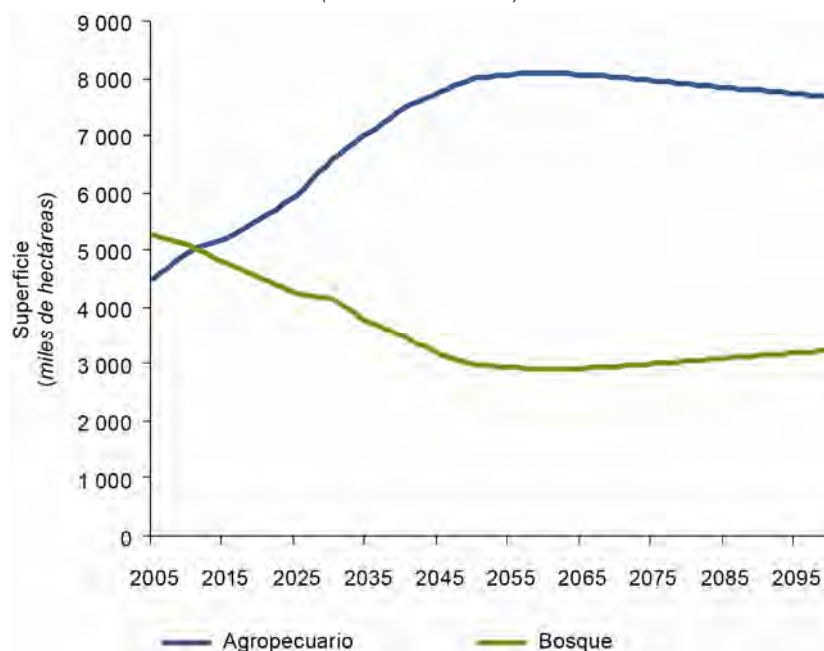


Fuente: Elaboración propia.

## NICARAGUA:

- Al año 2100, bajo el escenario tendencial, el área de agricultura y pastoreo crecería poco mas de 70% en detrimento de sabanas/herbazales/arbustivos que se reducirían en casi 90%, y de la cobertura boscosa (-40%, aproximadamente), incluyendo casi todas las áreas de bosque del noroeste.
- En el escenario tendencial, el área agrícola aumentaría fuertemente al noreste de la Región Autónoma Atlántico Norte, en una franja norte-sur al este del país y paralela a la costa Atlántica, y en áreas vastas más dispersas en los departamentos de Nueva Segovia, Madriz, Estelí y el sur de Jinotega.
- La regeneración tendería a aumentar hacia el 2100 con un núcleo de regeneración cercano a la Reserva de la Biósfera de Bosawás.
- El área urbana aumentaría alrededor de un 60% a partir de los grandes núcleos existentes, considerando una meta de 130.000 hectáreas.
- Bajo el escenario tendencial, la mayor pérdida de bosque y la mayor expansión del área agropecuaria ocurrirían en la primera mitad del siglo, y después habría una leve recuperación de la zona boscosa (véanse el gráfico 3.7, el cuadro 3.9 y el mapa 3.7).

**GRÁFICO 3.7**  
**NICARAGUA: EVOLUCIÓN DE LAS DEMANDAS IMPUESTAS AL MODELO**  
**BAJO ESCENARIO BASE (TENDENCIAL), 2005 A 2100**  
*(En miles de hectáreas)*



Fuente: Elaboración propia.

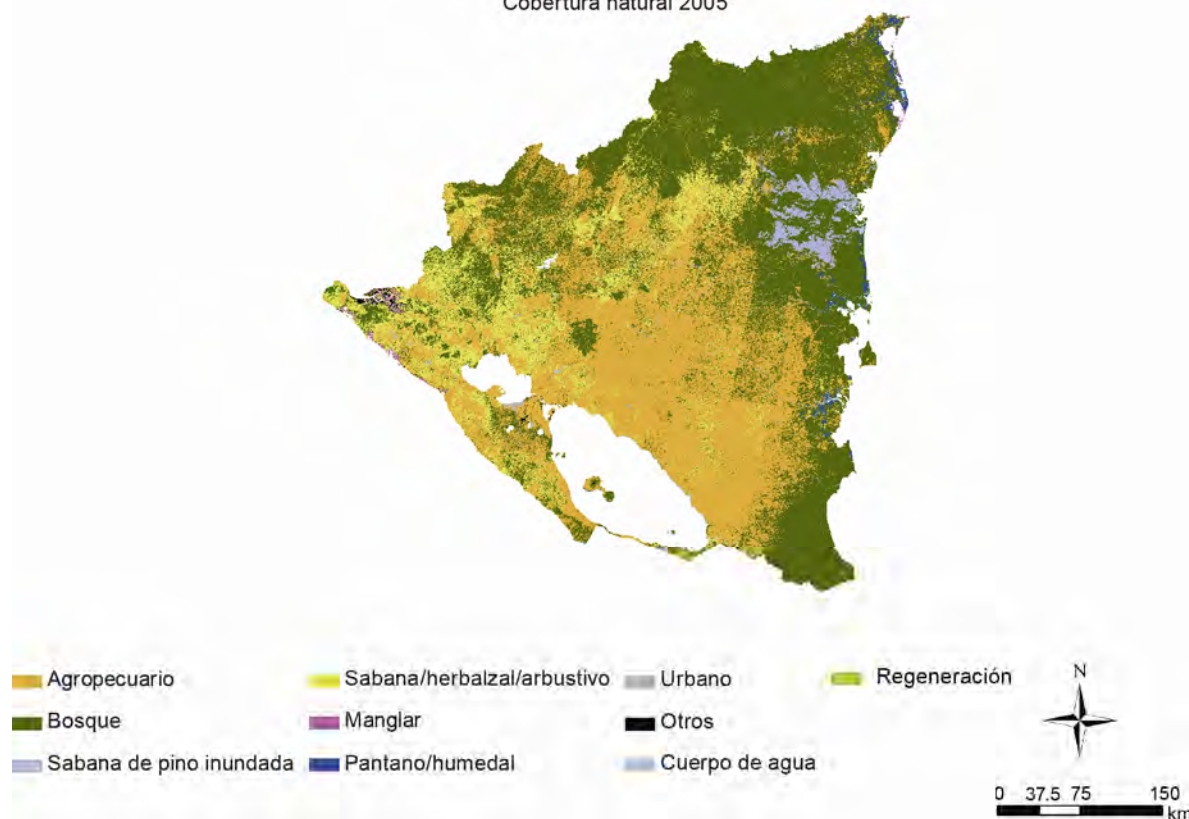


**CUADRO 3.9**  
**NICARAGUA: RESULTADOS DEL MODELAJE AL AÑO 2100**  
*(En miles de hectáreas y porcentajes)*

Cobertura	Año base	Escenario tendencial	Cambio escenario tendencial vs año base		
	2005	2100	Miles ha	% respecto al año base	Tasa de crecimiento anual
Agricultura/pastoreo	4 510,7	7 764,1	3 253,4	72,13	0,6
Cobertura boscosa	5 260,0	2 977,8	-2 282,2	-43,39	-0,6
Sabana de pino inundada	211,2	133,9	-77,3	-36,60	-0,5
Sabanas/herbazales/arbustivos	1 427,5	151,1	-1 276,4	-89,41	-2,3
Manglares	25,6	25,6	0	0	0
Pantanos/Humedales	89,5	89,5	0	0	0
Urbano	24,2	242,1	217,9	900,33	2,5
Otros	27,0	27,0	0	0	0
Cuerpos de agua	78,1	78,1	0	0	0
Regeneración	-	164,6	164,6	-	-
Total	11 653,8	11 653,8	0	-	-

Fuente: Estimación propia, sobre la base del modelo CLUE-S.

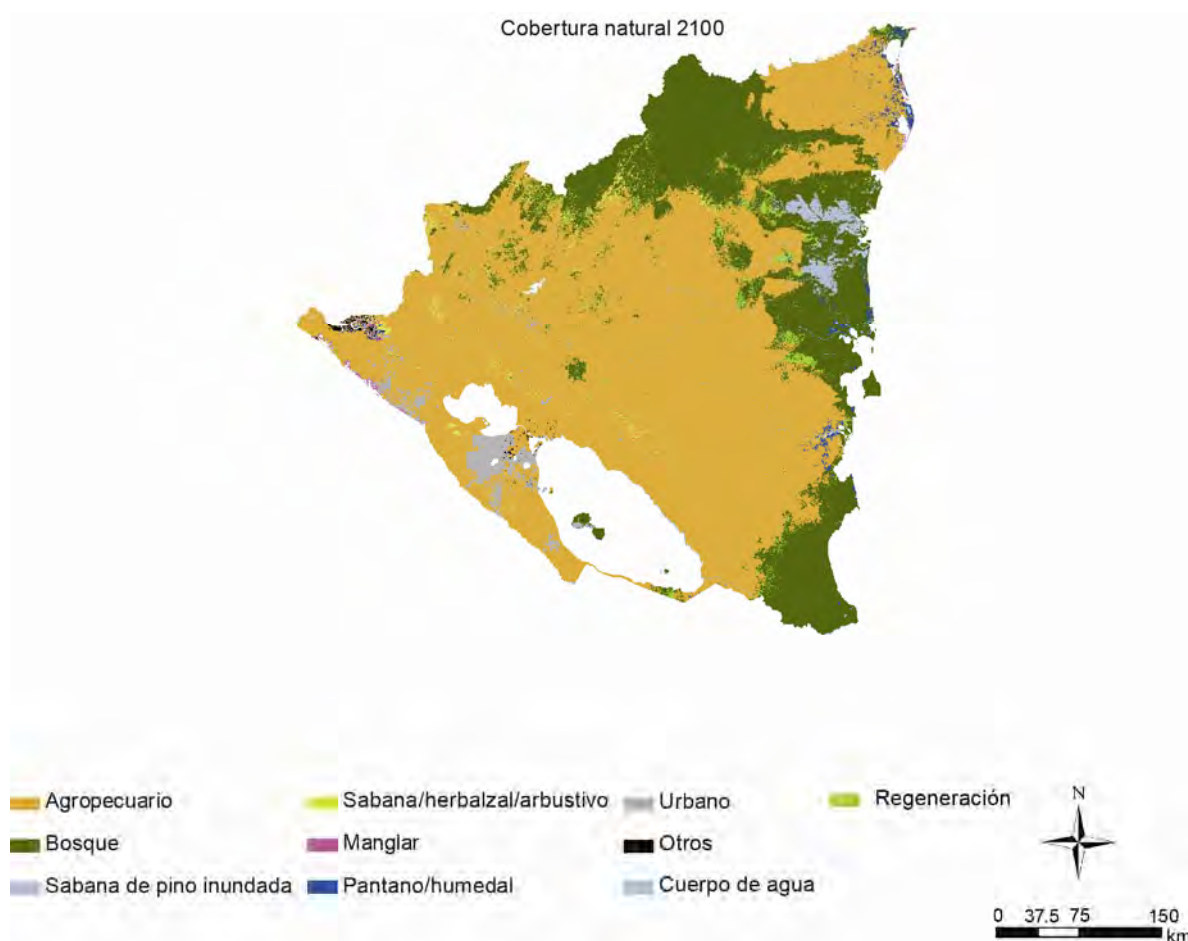
**MAPA 3.7**  
**NICARAGUA: ESCENARIO DE CAMBIO EN USO DE LA TIERRA, 2005 (BASE) Y 2100 (TENDENCIAL)**  
*Cobertura natural 2005*



(Continúa)



(Continuación Mapa 3.7)

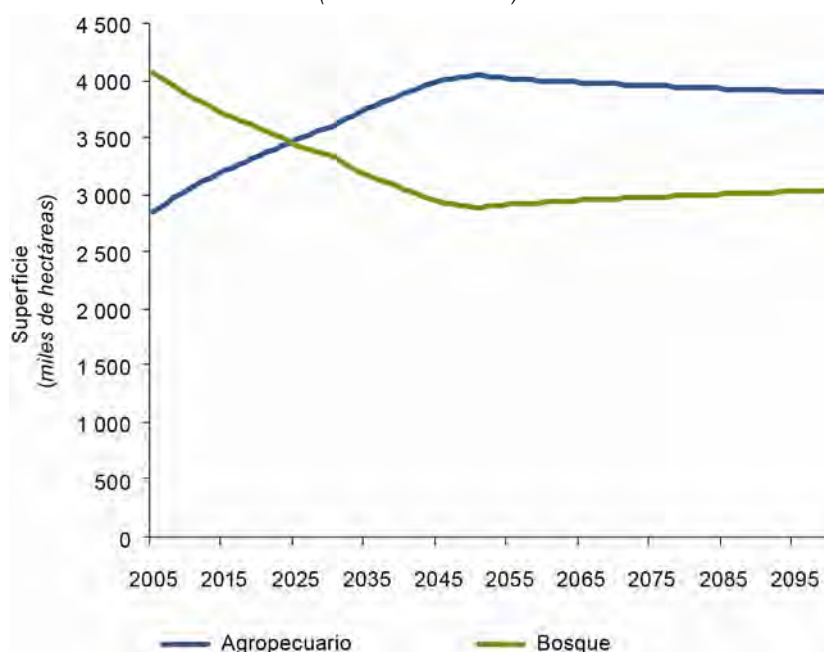


Fuente: Elaboración propia.

## PANAMÁ:

- Al año 2100, bajo el escenario tendencial, el área agropecuaria se expandiría aproximadamente en 35% y el bosque perdería poco menos de 30%, sobre todo alrededor de las grandes áreas boscosas.
- La agricultura crecería en detrimento de la cobertura forestal porque las áreas de sabana son reducidas. Éstas crecerían en un 778% hacia el 2100.
- Crecerían algunas áreas de regeneración dispersas.
- El uso de suelo urbano se fijó en este caso pero su evolución no pudo ser modelada, probablemente por las características del mapa.
- En el escenario tendencial, la mayor pérdida de bosque y la mayor expansión del área agropecuaria ocurrirían en la primera mitad del siglo (véanse el gráfico 3.8, el cuadro 3.10 y el mapa 3.8).

**GRÁFICO 3.8**  
**PANAMÁ: EVOLUCIÓN DE LAS DEMANDAS IMPUESTAS AL MODELO**  
**BAJO ESCENARIO BASE (TENDENCIAL), 2005 – 2100**  
*(En miles de hectáreas)*



Fuente: Elaboración propia.

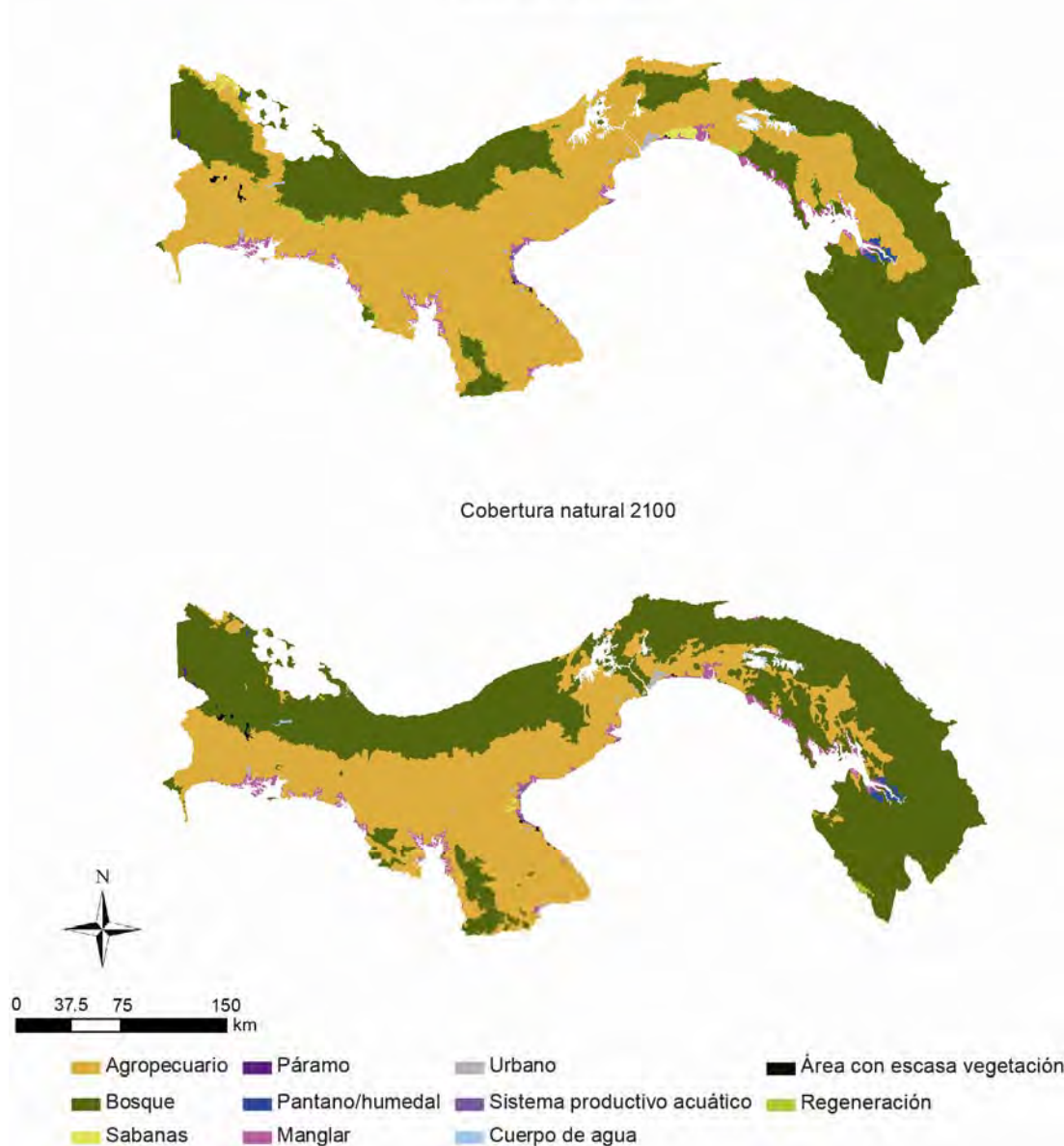
**CUADRO 3.10**  
**PANAMÁ: RESULTADOS DEL MODELAJE AL AÑO 2100**  
*(En miles de hectáreas y porcentajes)*

Cobertura	Año base	Escenario tendencial	Cambio escenario tendencial vs año base		
	2005	2100	Miles ha	% respecto al año base	Tasa de crecimiento anual
Sistemas agropecuarios	2 852,1	3 899,9	1 047,8	36,74	0,3
Bosques	4 063,9	2 904,8	-1 159,1	-28,52	-0,4
Sabanas	4,4	38,6	34,2	778,77	2,3
Páramos	2,3	2,3	0	0	0
Pantanos y humedales	19,4	19,4	0	0	0
Manglares	139,6	139,6	0	0	0
Urbano	19,7	19,7	0	0	0
Sistemas productivos acuáticos	7,2	7,2	0	0	0
Cuerpos de agua	18,3	18,3	0	0	0
Área con escasa vegetación	9,7	9,7	0	0	0
Regeneración	0	77,1	77,1	-	-
Total	7 136,6	7 136,6	0	-	-

Fuente: Estimación propia, sobre la base del modelo CLUE-S.

**MAPA 3.8**  
**PANAMÁ: ESCENARIO DE CAMBIO EN USO DE LA TIERRA,**  
**2005 (BASE) Y 2100 (TENDENCIAL)**

Cobertura natural 2005



Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 CAMBIO EN LOS SUMIDEROS DE CARBONO

Se realizó un modelado de los cambios en los sumideros de carbono asociados al cambio de uso de tierra bajo el escenario tendencial. Los contenidos de carbono fueron calculados como una síntesis de los valores reportados en la literatura. De esta forma, el uso agrícola reporta el valor promedio de los cultivos debido a falta de discriminación de tipos de cultivo en los mapas base por país. El cálculo fue similar para pastos naturales y sabanas, mientras que para los bosques se utilizó un modelo biofísico que relaciona el contenido de carbono de los bosques con los promedios anuales de precipitación y temperatura.

Los acervos totales de carbono para cada tipo de uso de la tierra fueron calculados multiplicando la estimación de la densidad de carbono ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) por el área (ha) de cada uso. Las pérdidas y ganancias de carbono en el tiempo fueron calculadas por diferencia o adición de los acervos de carbono entre los tipos de uso de la tierra considerados. El acervo total de carbono para cada país representa la suma de los acervos de carbono de todos los usos de la tierra identificados.

Los acervos de carbono bajo el escenario tendencial inicial (2005) suman 3.564 millones de toneladas de carbono (Mton C) en toda la región, variando entre 67 Mton C en El Salvador y 933 Mton C en Nicaragua (véase el cuadro 3.11). El limitado acervo de carbono de El Salvador obedece en principio a la menor extensión de la cobertura boscosa del país (véanse el cuadro 3.11, los gráficos 3.9 y 3.10)

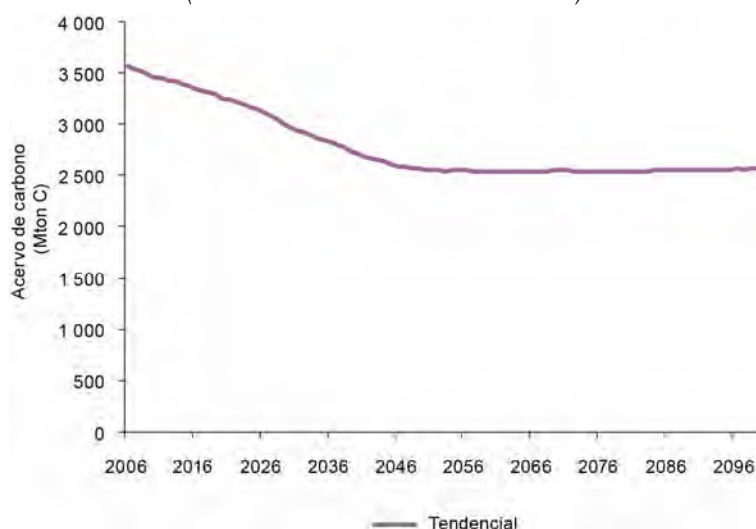
Entre el inicio de la simulación y aproximadamente el año 2050, los acervos de carbono disminuirían en forma progresiva en todos los países bajo el escenario considerado. En el 2050 se observan reducciones de carbono respecto del inicio de la simulación, con una pérdida regional de un poco más de 1.000 Mton C. Así, los acervos de carbono en el 2050 representan el 70% del acervo original en el 2005 bajo el escenario tendencial. Proporcionalmente, la mayor reducción porcentual de los acervos de carbono del bosque ocurre en Guatemala, aunque su magnitud absoluta es menor que en Nicaragua. Así, los países con mayor pérdida absoluta de carbono hasta el año 2050 en el escenario tendencial serían Nicaragua, Guatemala y Honduras (-322, -261 y -171 Mton C, respectivamente). A pesar de esta reducción, los acervos remanentes al año 2050 en estos países representan entre 60% y 70% de los acervos originales. Después del 2050, la evolución de los acervos de carbono tendería a estabilizarse (véase el gráfico 3.9).

**CUADRO 3.11**  
**CENTROAMÉRICA: ACERVOS TOTALES DE CARBONO BAJO ESCENARIO TENDENCIAL, 2005 - 2100**  
(En millones de toneladas de carbono (Mton C))

País	2005	2030	2050	2070	2100
Belice	176,5	162,0	151,8	152,1	149,8
Costa Rica	453,7	421,5	384,5	384,5	392,0
El Salvador	67,4	48,5	48,2	45,0	45,0
Guatemala	699,3	521,1	438,4	442,2	439,5
Honduras	590,8	491,4	420,3	425,5	419,8
Nicaragua	933,3	771,0	611,8	599,8	618,8
Panamá	643,0	561,3	498,5	504,1	506,0
Centroamérica	3 564,0	2 976,8	2 553,5	2 553,1	2 570,9

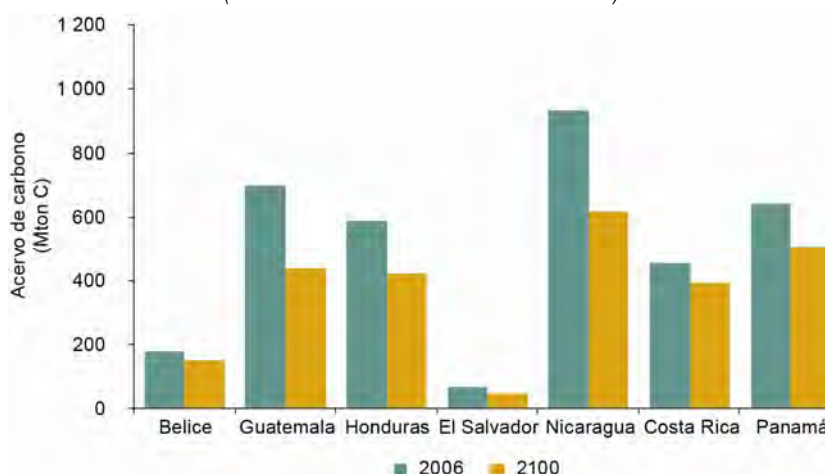
Fuente: Elaboración propia. Resultados de simulación.

**GRÁFICO 3.9**  
**CENTROAMÉRICA: VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN SUMIDEROS**  
**BAJO ESCENARIO TENDENCIAL, 2006-2100**  
*(En millones de toneladas de carbono Mton C)*



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 3.10**  
**CENTROAMÉRICA: DISMINUCIÓN EN ACERVOS DE CARBONO BAJO ESCENARIO TENDENCIAL, 2006 Y 2100**  
*(En millones de toneladas de carbono Mton C)*



Fuente: Elaboración propia.

Los acervos de carbono de la región bajo el escenario tendencial para el 2100 representan 72% de los acervos al inicio de la simulación. Para el 2100 se espera que Nicaragua, Guatemala y Honduras sean los países con las mayores pérdidas absolutas de carbono. El país con la menor proporción de carbono remanente es Guatemala, quedando con aproximadamente un 63% del acervo original bajo el escenario tendencial al 2100. El país con la mayor proporción de carbono remanente sería Belice, que conservaría un 85% del acervo original bajo el ese mismo escenario. Es importante notar que estos resultados iniciales son sujetos a las incertidumbres de los modelajes prospectivos y los supuestos utilizados.



El comportamiento de la curva hacia el año 2100 puede deberse a los horizontes de tiempo del escenarios utilizado. GEO4 simula condiciones hasta el 2050. Para horizontes de tiempo posteriores se utilizó *International Futures*. Los patrones observados hacia el final de la simulación también podrían explicarse por el aumento de la regeneración y la disminución de las demandas de tierras agrícolas, lo que ocurriría a partir del 2050, como predice el modelo *International Futures*. La regeneración boscosa (caracterizada por altas tasas de crecimiento y secuestro de carbono) podría compensar parcialmente las pérdidas de carbono de los bosques por el cambio climático.

### 3.5 CONSIDERACIONES FINALES

1. En el marco del proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica” se diseñó un escenario tendencial de cambio de uso de tierra al año 2100. El proceso consistió en dos etapas. En la primera se calcularon las demandas de uso de tierra a partir de los mapas de cobertura disponibles en cada país con diferentes años de referencia, desde 1992 (Costa Rica) hasta 2006 (Nicaragua y Honduras). En los escenarios de demandas futuras se aplicó un promedio de tres de los cuatro escenarios futuros de uso de tierra de GEO4 (Mercados Primero, Seguridad Primero y Sostenibilidad Primero) que alcanzan hasta el año 2050 (PNUMA, 2007b). Se realizó una desagregación geográfica de estos escenarios a nivel nacional, según los supuestos de Luijten, Miles y Cherrington (2006), y se hizo una extrapolación del 2050 al 2100 con el modelo *International Futures* (IFs, por sus siglas en inglés) (Hughes, 2008). En la segunda etapa se realizó la distribución geográfica de las demandas en función de factores explicativos de localización de los usos de suelo: acceso a mercados, índice de desarrollo humano, elevación, pendiente en grados, capacidad de uso del suelo, profundidad del suelo, densidad de población, precipitación media anual y temperatura media anual. Para realizar este modelaje georeferenciado se aplicó el modelo CLUE-S (Verburg y otros, 2002), que usa conceptos de conectividad, jerarquía, estabilidad y resiliencia, entre otros.
2. En el escenario base del año 2005, el 41% de la tierra de la región estaba dedicada al uso agropecuario, 43% era de bosque, 12% de sabanas, arbustales y pastizales naturales, 0,5% de uso urbano y casi 4% de otros usos. De acuerdo con el modelaje, para el 2100 se espera la pérdida de aproximadamente la tercera parte de los bosques del 2005 y hasta un 80% de pastizales, sabanas y arbustales, mientras que el área agropecuaria crecería hasta en 50%. La mayoría de estos cambios ocurrirían hacia el 2050.
3. En general, se espera una tendencia de conversión de bosques dispersos en tierras de uso agropecuario y después la conversión de los “bloques” más continuos de bosques y de sabanas/pastizales/arbustos. Los resultados del modelaje en el escenario tendencial al 2100 a nivel de país indican que Belice podría perder gran parte de las sabanas y arbustales, aunque permanecerían grandes áreas boscosas. Se estiman pérdidas de aproximadamente un 15% de los bosques y una expansión agropecuaria de casi 72%, mientras que la cobertura de sabana y herbazal podría perderse en su totalidad. Para Costa Rica se prevé una reducción de bosques en aproximadamente 30% y un aumento del área agropecuaria superior al 20%. Para El Salvador los resultados indican un posible incremento de alrededor del 20% del área agropecuaria en detrimento de las sabanas y arbustales (más del -80%) y bosques (aproximadamente -60%). En Guatemala se estiman pérdidas de aproximadamente 15% del área de bosques, 85% de pastizales/sabanas y 80% de arbustales. El área agrícola podría duplicarse y se espera una expansión del área de pastoreo de más

del 70%. Para Honduras el área agropecuaria crecería casi un 40%, con una posible reducción de los bosques de poco más del 45%. Al año 2050 se estima la pérdida casi total de las sabanas y herbazales. Para Nicaragua el modelo sugiere un crecimiento de alrededor del 70% del área de agricultura y pastoreo en detrimento de las sabanas/herbazales/arbustivos de casi 90% y de la cobertura boscosa en -40%, aproximadamente. Finalmente, en Panamá el área agropecuaria se expandiría en aproximadamente 35% con una posible pérdida de bosques de poco menos del 30%.

4. A partir de estas proyecciones se modelaron los cambios en los acervos totales de carbono de cada país asociados al cambio de los tipos de uso de la tierra. Los acervos de carbono iniciales bajo el escenario tendencial sumarían 3.564 Mton C en toda la región, perdiendo aproximadamente 1.010 MT hacia el 2050 y quedar el 72% del acervo original. La mayor reducción de los acervos de carbono ocurriría en Guatemala con 37% del total de sus acervos iniciales. Posterior al año 2050, la evolución de los acervos de carbono tendería a estabilizarse, igual que la evolución del cambio de uso de la tierra.
5. Se recomienda utilizar el escenario base de cambio de uso de tierra con los escenarios macroeconómicos y de población, verificando su consistencia y usándolo como línea base para otros componentes del proyecto. Este escenario tendencial tiene implicaciones: a) para las negociaciones sobre una línea base frente a la reducción de emisiones por deforestación y degradación; b) para la capacidad de adaptación de los bosques y otros ecosistemas al cambio climático; c) para la degradación de recursos como el agua, su contribución a la producción agrícola y la capacidad de adaptación de los seres humanos. Tales cambios también pueden generar cambios climáticos locales.

## 4. RECURSOS HÍDRICOS

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas están ejerciendo una fuerte presión sobre la disponibilidad de recursos hídricos, sobre todo a partir de las últimas cuatro décadas (IPCC, 2007d; Bates y otros, 2008; Barthel y otros, 2008). Se estima que entre 1.400 y 2.100 millones de personas disponen de menos de 1.000 m<sup>3</sup>/año, es decir, casi una tercera parte de la población mundial enfrenta una situación de estrés hídrico con sus efectos negativos como un mayor riesgo de enfermedades infecciosas. Las investigaciones sobre los impactos del cambio climático señalan que la disminución de los recursos hídricos disponibles ante el aumento de la temperatura media del planeta es uno de los mayores riesgos. El informe Stern (2007) estima que un aumento de 2 °C de la temperatura media podría disminuir entre 20% y 30% la disponibilidad de agua en las regiones de África y el Mediterráneo. Un aumento de 3 °C significaría que entre mil y cuatro mil millones de personas experimentarían estrés hídrico. Otros importantes cambios esperados en el sistema hídrico son: modificación de los patrones de precipitación y escurrimiento; intensidad y mayor ocurrencia de eventos extremos; derretimiento de las capas de hielo; incremento del vapor de agua atmosférico y de la vaporización y cambios de los niveles de humedad del suelo (Bates y otros, 2008; IPCC, 2007d).

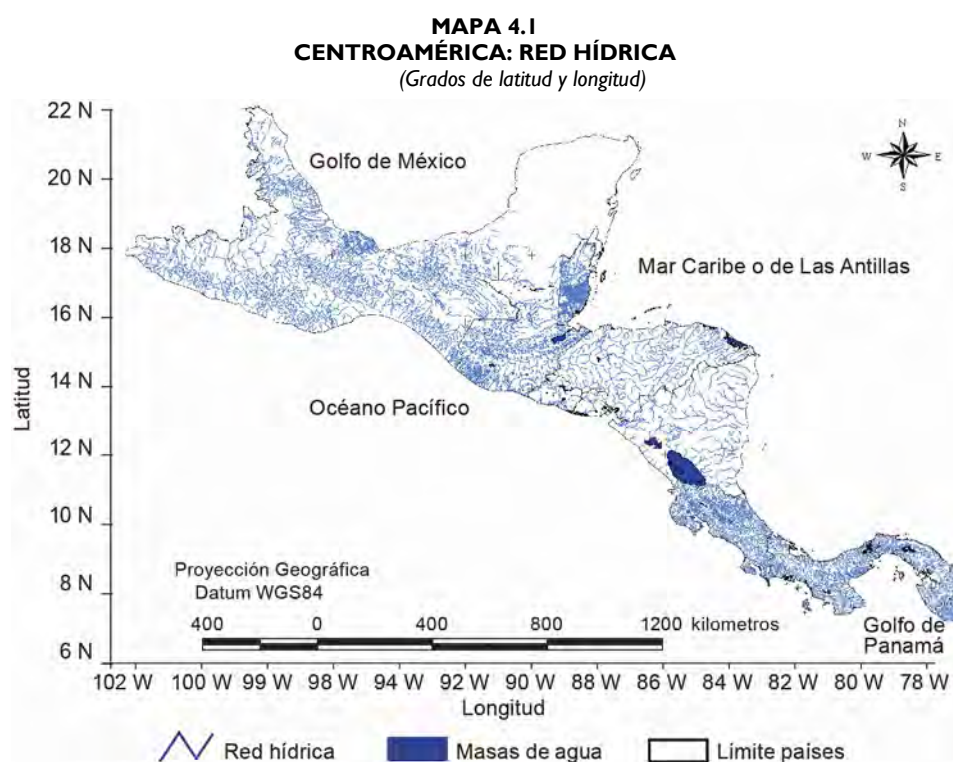
### 4.2 DISPONIBILIDAD DE AGUA Y “ESTRÉS” HÍDRICO ACTUALES

Centroamérica es una región relativamente privilegiada en disponibilidad de agua, con aproximadamente 23.000 metros cúbicos anuales por habitante, casi el triple del promedio mundial (Jiménez y Asano, 2008). Esta situación se explica principalmente por su posición latitudinal, su condición ístmica y las variaciones topográficas del territorio, características propicias a la ocurrencia de precipitaciones pluviales y a la existencia de abundantes ríos y lagos (véase el mapa 4.1).

No obstante esta abundancia promedio, la disponibilidad es muy variada entre y dentro de los países. El Salvador, por ejemplo, dispone apenas de 1.752 m<sup>3</sup> per cápita anual, nivel muy cercano al considerado como estrés hídrico de 1.700 m<sup>3</sup> per cápita anual (Jiménez y Asano, 2008)<sup>1</sup>. Belice, en cambio, dispone de 66.429 m<sup>3</sup> per cápita anual, ocho veces la disponibilidad media mundial (véanse los cuadros 4.1 y 4.2). Por otro lado, la distribución del recurso es desigual en el tiempo por los períodos de lluvia y sequías estacionarias y entre años, así como por la variación de la demanda por los asentamientos humanos densos, el desarrollo industrial y la producción agrícola intensiva. Históricamente, la mayor demanda de agua ocurre en la vertiente del Océano Pacífico, cuya disponibilidad es menor que en la vertiente del Mar Caribe.

---

<sup>1</sup> Para el *World Resource Institute* (WRI, 2009), los países con 1.700 m<sup>3</sup> per cápita anual padecen de estrés hídrico, pero las localidades con menos de 1.000 m<sup>3</sup> per cápita anual podrían calificar como de escasez crónica. Las que tienen menos de 500 m<sup>3</sup> per cápita anual podrían calificar como de estrés absoluto y alta vulnerabilidad.



Fuente: CCAD y Banco Mundial, 2010.

La estimación de la demanda de agua en este estudio se basa en los datos del uso consuntivo por sector (municipal, industrial y agrícola) del año 2005 preparados en el marco del *World Water Council* por su homogeneidad, calidad y disponibilidad (véase el cuadro 4.1). La extracción total regional es de 12.200 millones m<sup>3</sup> al año; Guatemala consume 42% de este total, seguida por Costa Rica con 22%. En Honduras, Guatemala, Costa Rica y El Salvador, entre 83% y 54% de la extracción nacional reportada se dedica a la agricultura, mientras que en Panamá domina el consumo industrial, con 66%. La información disponible indica una alta variación de la porción de extracción para consumo municipal, entre 89% en Belice y 3% en Nicaragua. El Salvador padece el mayor índice de intensidad, 12%, y Belice el menor, 0,7%.

**CUADRO 4.1**  
**CENTROAMÉRICA: DISPONIBILIDAD, EXTRACCIÓN, INTENSIDAD DE USO Y USO DE AGUA POR SECTOR**  
(En varias unidades)

País	Disponibilidad		Extracción total Millones m <sup>3</sup> /año	Índice de intensidad de uso %	Uso de agua por sector		
	Per cápita m <sup>3</sup> /año	Total Millones m <sup>3</sup> /año			Agricultura %	Municipal %	Industrial %
El Salvador	1 752	10 600	1 270	12,01	54	46	0,3
Honduras	12 008	82 800	860	1,04	81	11	8
Guatemala	12 197	155 000	5 140	3,32	77	16,2	8,7
Costa Rica	16 859	72 900	2 680	3,67	54	17	29
Nicaragua	23 486	128 000	1 300	1,02	83	3	14
Panamá	29 193	94 200	824	0,87	29	5	66
Belice	66 429	18 300	125	0,68	0	89	11
Promedio	23 132						

Fuente: Datos de *World Water Council* (WWC) y Comisión Nacional del Agua de México (CNA), 2006 para todos los países, excepto El Salvador, cuyos datos son de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados de El Salvador (ANSA), 2006.

**CUADRO 4.2**  
**INDICADOR DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA Y CLASIFICACIÓN**

Disponibilidad m <sup>3</sup> per cápita/año	Clasificación de disponibilidad	Clasificación de vulnerabilidad
> 1 700	Sin estrés hídrico	Sin vulnerabilidad a nivel nacional pero posible a nivel local
< 1 000	Escasez crónica	Vulnerable
< 500	Estrés absoluto	Muy Vulnerable

Fuente: WRI, 2009 y 2010.

## PRECIPITACIÓN PLUVIAL

La disponibilidad natural del recurso hídrico en Centroamérica está asociada a los patrones de precipitación. Pese a que el nivel de precipitación anual (entre 1.000 mm y 5.000 mm) es bastante elevado, su distribución es heterogénea en la región y dentro de los países, a lo largo del año y entre años. Mientras la vertiente del Mar Caribe recibe abundantes precipitaciones casi todo el año, la del Pacífico experimenta períodos secos por cinco o más meses (López, 2009). Los países con mayor precipitación anual son Costa Rica, Panamá, Nicaragua, Guatemala y Belice. No obstante, también han sufrido períodos de sequía que podrían ser más frecuentes en el contexto del cambio climático. Según la climatología histórica de 1980-2006, El Salvador, Guatemala y Honduras han sufrido una disminución de la precipitación media anual respecto al período 1950-1979. Nicaragua y Costa Rica han tenido cierta estabilidad, en tanto Belice y Panamá registran una tendencia ascendente (véase el cap.1).

## CUERPOS SUPERFICIALES

Los ríos más caudalosos y extensos de Centroamérica desembocan en la vertiente del Caribe. Esta región es aproximadamente 2,3 veces más grande que la del Pacífico y drena el 70% del territorio. Las cuencas más extensas de la región del Caribe son las del Río Usumacinta entre Guatemala y México, que drena al Golfo de México, de los ríos San Juan entre Nicaragua y Costa Rica y Coco entre Honduras y Nicaragua. Los ríos más cortos y rápidos son los de la vertiente del Pacífico, cuya cuenca mayor es la del río Lempa que fluye por Guatemala, Honduras y El Salvador.

Centroamérica contiene varios lagos; los más grandes son los lagos Nicaragua y Managua en Nicaragua; Izabal, Petén Itzá y Atitlán en Guatemala; Ilopango en El Salvador; Caratasca, Brus y Yojoa en Honduras; Arenal en Costa Rica y Gatún y Bayano en Panamá. Algunos de ellos están dañados por contaminación de agroquímicos o aguas residuales. Los daños más notorios son los de Atitlán en Guatemala, Yojoa en Honduras, Cerrón Grande y Managua en Nicaragua (PNUMA, CCAD y SICA, 2005).

Los humedales y los sistemas acuáticos costeros son de vital importancia socioeconómica para la región (IPCC, 2007c). Los manglares cubren 1,4% del territorio regional (5.670 km<sup>2</sup>), 71% de ellos está en la vertiente del Pacífico, la mitad en Panamá. Tres quintas partes de los humedales y manglares de la región Caribe se encuentran en Belice. Muchos manglares están amenazados por la actividad humana (Banco Mundial y CCAD, 2001; SICA, CCAD, PROARCA y UCR, 2001).

## CUENCAS TRANSFRONTERIZAS

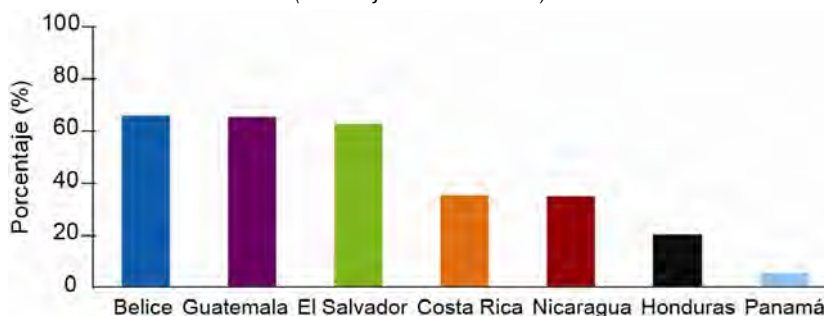
Centroamérica contiene 23 cuencas principales compartidas entre dos o más países, el 11% del total mundial (SICA y CCAD, 2005), las cuales abarcan aproximadamente 40% del territorio, sumando 191.449,3 km<sup>2</sup>, superficie superior a la de cualquier país de la región. Las más grandes son las de los ríos Usumacinta, San Juan y Coco (Hernández y Ríos, 2006). El hecho de compartir cuencas relaciona



a los países en forma compleja, unos aguas arriba, otros agua abajo, o bien compartiendo vertientes. Esta situación crea dependencias respecto al agua disponible, obras de riego, inundaciones, transporte fluvial y contaminación. La vulnerabilidad y la necesidad de gestión compartida se incrementan ante escenarios de cambio climático que podrían modificar la cantidad y calidad del agua, el transporte de sedimentos y la trayectoria de ríos.

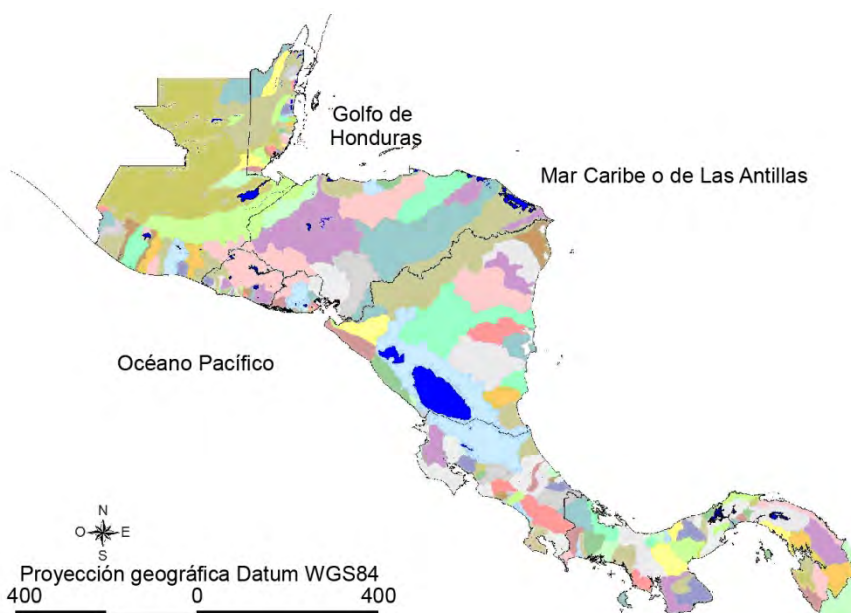
Guatemala es el país con más cuencas internacionales, 13, tres de ellas compartidas con México, una con México y Belice, cinco con Belice, dos con Honduras, una con El Salvador y una con Honduras y El Salvador. Guatemala también es el país de Centroamérica con la segunda mayor área de cuenca internacional como porcentaje del territorio nacional (64,6%), siendo Belice el primero (65,1%) (véanse el gráfico 4.1 y el mapa 4.2). La cuenca del río Lempa es de particular interés por el serio reto de uso compartido entre El Salvador, Honduras y Guatemala en relación con la cantidad y calidad del agua, razón por la cual es objeto de varios acuerdos internacionales como el del Trifinio.

**GRÁFICO 4.1**  
**CENTROAMÉRICA: EXTENSION DE LAS CUENCAS INTERNACIONALES**  
(Porcentaje del área nacional)



Fuente: FUNPADEM y UCR, 2000.

**MAPA 4.2**  
**CENTROAMÉRICA: CUENCAS HIDROGRÁFICAS**



Fuente: CCAD y Banco Mundial, 2010.

## ACUÍFEROS

El 75% de la población de Centroamérica se asienta en la vertiente del Pacífico y se abastece de agua subterránea. Los acuíferos más grandes son los de Managua, Nicaragua y el norte del Valle Central de Costa Rica, donde la mitad de la población los emplea como fuente de agua potable. Muchos acuíferos de la vertiente Pacífico de Honduras, El Salvador y Guatemala presentan alta salinidad, la cual se ha incrementado notablemente desde el año 2005. Su uso futuro se ve amenazado por la posibilidad de elevación del nivel mar. En los acuíferos de San Salvador, El Salvador, Managua, Nicaragua y San José, Costa Rica se han identificado problemas de calidad del agua por infiltración de agroquímicos y de aguas residuales domésticas sin tratamiento.

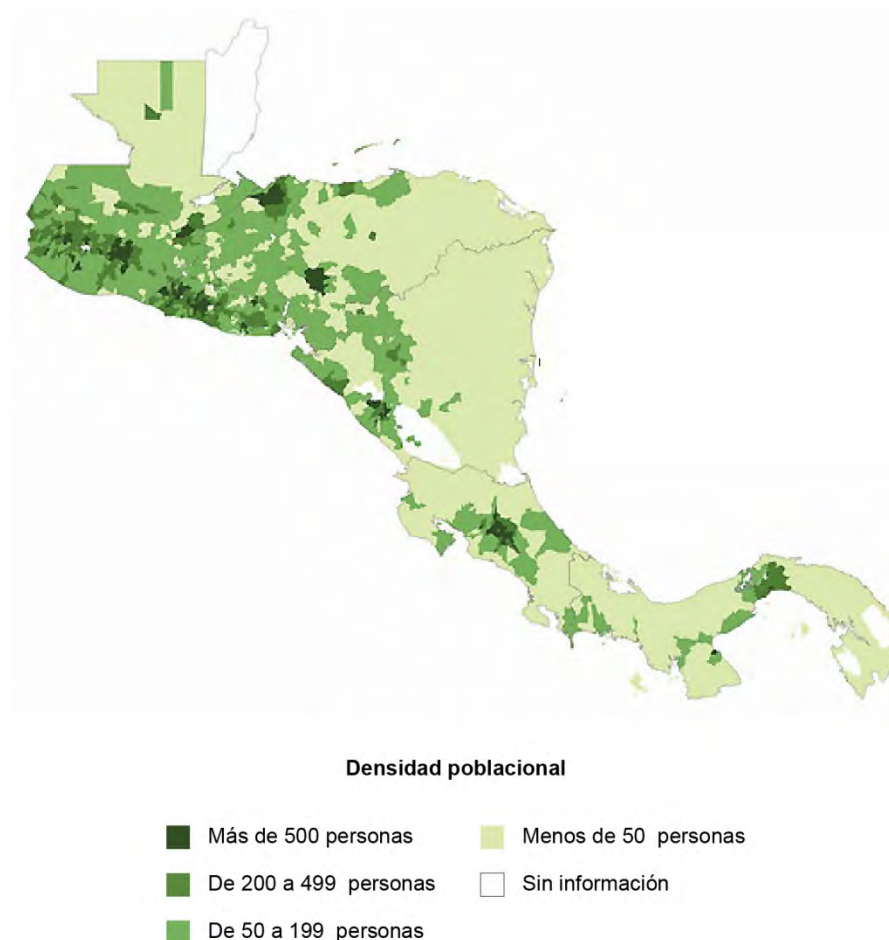
### 4.3 DEMANDA DE AGUA ACTUAL

El cuadro 4.1 muestra que los países de Centroamérica presentan diferencias de demanda de agua por sectores, según los datos disponibles. En Honduras, Guatemala y Nicaragua el principal demandante es el sector agropecuario, en Belice el sector residencial y en El Salvador los sectores municipal y agropecuario, que cubren casi el total. En Costa Rica los sectores industrial y municipal demandan el 46% del total y en Panamá el principal demandante es el sector industrial. Si se consideran sectores de uso no consuntivo como la energía hidroeléctrica, el turismo y el sector ambiental por el uso ecológico, las cifras cambian significativamente. Por ejemplo, si en Costa Rica se incluyera la utilización del agua para generar energía, el índice de intensidad de uso aumentaría hasta en 20%. Un aumento similar se produciría en Panamá al considerar el transporte por el Canal de Panamá.

A pesar de los altos valores de disponibilidad de agua, la población de muchas zonas de Centroamérica sufre escasez. El gobierno de Guatemala decretó estado de Calamidad Pública en 2009 por crisis de alimentos, desnutrición y hambruna causadas por una prolongada sequía. El desequilibrio estacional entre disponibilidad y demanda de agua ha provocado que en algunas zonas el escurrimiento de ríos se limite a la temporada de lluvias, dejando áreas rurales sin fuentes de agua durante la mitad del año. La contaminación también limita la disponibilidad de agua en zonas urbanas y rurales e incrementa el costo de suministro por tratamiento o transporte del agua desde fuentes más lejanas (A. López, 2009). Finalmente, la demanda de agua para generación de energía, agua potable, actividades turísticas y riego agrícola es creciente.

Con respecto al uso municipal del agua, que es consuntivo, los mayores asentamientos humanos de Centroamérica se concentran en zonas bajas y/o en la vertiente Pacífico, donde hay situaciones de estrés hídrico por menor disponibilidad de agua, principalmente para suministro municipal. Como quedó dicho, sólo 27% del agua superficial disponible fluye por la vertiente del Pacífico. El 71% fluye por la vertiente del Caribe, donde se localizan también las principales reservas de agua subterránea (véase el mapa 4.3). Los acuíferos de la vertiente Pacífico están sobreexplotados y, en algunos casos, presentan salinidad. La escasez de agua para consumo humano afecta a amplios sectores de la población, sobre todo en la época seca (A. López, 2009).

**MAPA 4.3**  
**CENTROAMÉRICA: DENSIDAD DE POBLACIÓN**



Fuente: PEN, 2011.

El cuadro 4.3 muestra las principales estadísticas de cobertura del servicio municipal mejorado y de agua entubada en la región y tarifas promedio de agua potable (OMS y UNICEF, 2010). De acuerdo con A. López (2009), muchos sistemas de agua potable y alcantarillado necesitan rehabilitación y ampliación sustantivas y tienen serias deficiencias de operación, con interrupciones del servicio, pérdidas en la distribución y fallas de desinfección que limitan la disponibilidad del agua de uso doméstico. Cifras disponibles de Belice, El Salvador y Panamá estiman pérdidas en la red de distribución de entre 35% y 54% del agua distribuida (ADERASA, 2008). Por otro lado, el acelerado crecimiento de las ciudades y la falta de infraestructura, con su proliferación de barrios marginales carentes de servicios básicos, acumula descargas de aguas residuales sin control e inadecuada disposición de desechos sólidos, deteriorando aun más la calidad de las fuentes de suministro cercanas (PNUMA, CCAD y SICA, 2005).

El cuadro 4.4 presenta la dotación de agua per cápita anual al 2005. Belice tiene la mayor dotación, seguido por Costa Rica, El Salvador y Guatemala. Por otro lado están Honduras, Panamá y Nicaragua con un nivel inferior a los 14 m<sup>3</sup> per cápita anual.

**CUADRO 4.3**  
**CENTROAMÉRICA: COBERTURAS Y TARIFAS DEL SERVICIO DE AGUA MUNICIPAL, 2008**  
*(En porcentajes y dólares)*

País	Población urbana		Población rural		Población total		Tarifa promedio agua potable <sup>a</sup> Dólares/m <sup>3</sup>
	Servicio de agua mejorada %	Servicio de agua entubada %	Servicio de agua mejorada %	Servicio de agua entubada %	Servicio de agua mejorada %	Servicio de agua entubada %	
Belice	99	87	100	61	99	75	1,27
Costa Rica	100	100	91	89	97	96	0,49
El Salvador	94	80	76	42	87	65	0,26
Guatemala	98	95	90	68	94	81	0,25
Nicaragua	98	88	68	27	85	62	0,27
Honduras	95	94	77	72	86	83	0,27
Panamá	97	93	83	79	93	89	0,41
Latinoamérica <sup>a</sup>	97	92	80	58	93	84	0,23 <sup>b</sup>

Notas: Servicio de agua entubada incluye conexión dentro de la casa o en el terreno. Servicio de agua mejorada incluye otros conceptos como pozo o nacimientos protegidos.

<sup>a</sup> Promedio calculado con base en la tarifa reportada en SIECA (2007), para consumos menores a 30 m<sup>3</sup>/mes.

<sup>b</sup> Promedio de 16 ciudades de Latinoamérica en 2006, ADERASA (2008).

Fuente: OMS-UNICEF, 2010, para 2008.

**CUADRO 4.4**  
**CENTROAMÉRICA: DOTACIÓN DE AGUA PER CAPITA POR CADA PAÍS, 2005**  
*(Metros cúbicos por habitante al año)*

País	Dotación de agua m <sup>3</sup> per cápita/año
Belice	403,1
Costa Rica	105,3
El Salvador	96,6
Guatemala	64,8
Honduras	13,7
Nicaragua	7,2
Panamá	12,8

Fuente: Elaboración propia con datos de *World Water Council* (WWC) y de la Comisión Nacional del Agua de México (CNA), 2006 para todos los países con excepción de El Salvador, cuya información es de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados de El Salvador (ANSA), 2006.

La agricultura sigue siendo un sector importante, especialmente en Nicaragua, El Salvador, Guatemala y Honduras. Ocupa grandes áreas territoriales: 70% en Costa Rica, 68% en El Salvador, 53% en Honduras, 50% en Guatemala, 47% en Nicaragua, 38% en Panamá y 17% en Belice. Aproximadamente 130.000 hectáreas son de riego, equivalentes a 7,3% de la superficie agrícola regional, siendo Costa Rica el país con mayor superficie regada (véase el cuadro 4.5). El empleo de agua para riego medida en m<sup>3</sup> por hectárea muestra grandes diferencias entre los países. Aun sin cambio climático, la demanda de agua para riego podría aumentar por la necesidad de alimentar a una población creciente y aumentar ingresos con cultivos más rentables.

**CUADRO 4.5**  
**CENTROAMÉRICA: INDICADORES AGROPECUARIOS Y DE RIEGO**  
*(En porcentajes y metros cúbicos por hectárea por año)*

<b>País</b>	<b>Contribución del sector agropecuario al PIB nacional</b> %	<b>Área de la agricultura bajo riego</b> %	<b>Consumo de agua de riego <sup>a</sup></b> m <sup>3</sup> /ha./año
Guatemala	13,42	6,6	6 867
Honduras	12,56	3,7	18 692
Belice <sup>b</sup>	10,97	3,4	333
Nicaragua	19,55	3,2	12 314
El Salvador	13,42	0,8	9 876
Costa Rica	9,05	25,0	44 816
Panamá	5,44	4,9	37 032

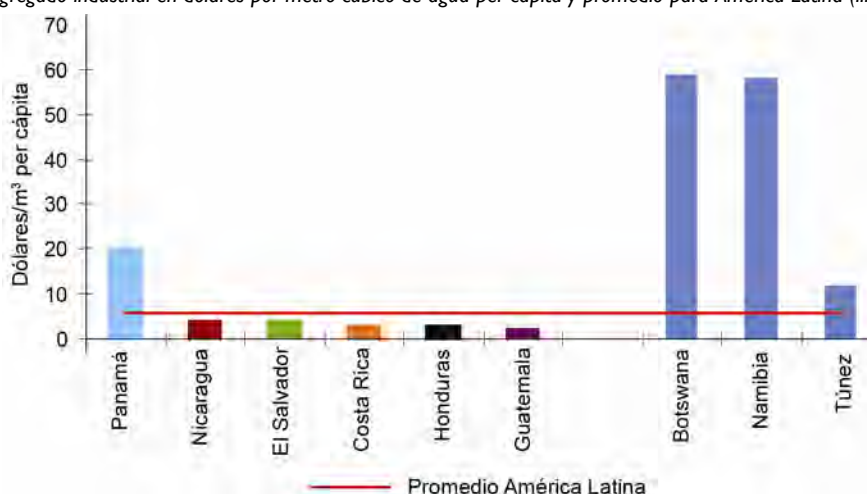
Notas: <sup>a</sup> Estimación FAO con datos de 1961-2000, citado en Rojas y Echeverría (2003).

<sup>b</sup> Dato aportado para 2008 por CEPAL.

Fuente: PIB aportado por CEPAL, datos de riego de Rojas y Echeverría, 2003.

La información disponible de la demanda de agua por la industria es escasa en Centroamérica, así que es difícil realizar un análisis específico y detallado. El gráfico 4.2 presenta el índice de productividad industrial del agua, entendido como el PIB generado por m<sup>3</sup> de agua empleado en la industria. Con excepción de Panamá, los países tienen una productividad industrial menor al promedio de América Latina, 5,8 dólares/m<sup>3</sup>, y mucho menor que la de otros países con economías diversas que han logrado producir más riqueza sin aumentar el volumen de agua consumida.

**GRÁFICO 4.2**  
**CENTROAMÉRICA Y OTROS TRES PAÍSES: PRODUCTIVIDAD INDUSTRIAL DEL AGUA**  
*(Valor agregado industrial en dólares por metro cúbico de agua per cápita y promedio para América Latina (línea roja))*



Nota: Datos de Belice no disponibles.

Fuente: Jiménez y Asano, 2008.

Es importante anotar que el uso de agua por el sector energético de Centroamérica es no consuntivo y representa 3% del total de extracción de agua, lo cual se explica por el uso de plantas hidroeléctricas, que regresan el agua empleada a la cuenca (Kemp-Benedict, Heaps y Raskin, 2002). No obstante, debido a que las hidroeléctricas emplean gran cantidad de agua, el cambio climático podría poner en riesgo su operación.



Este estudio plantea la importancia de reconocer que los ecosistemas, de los cuales depende la población humana, también necesitan agua, por lo que debemos incluir algún supuesto del volumen de uso ecológico en el análisis. No obstante, en la literatura internacional no hay acuerdo sobre cómo calcularlo. En ausencia de datos se asumió que dicho volumen corresponde a la cantidad de agua remanente en cada país en 2005 después de los usos consuntivos. Este volumen es aproximadamente 88% en El Salvador, 96% en Costa Rica, 97% en Guatemala y 99% en el resto. Se propone que esta cifra sea ajustada en futuros ejercicios mediante consulta con expertos.

#### 4.4 METODOLOGÍA

Debido a la importancia de los recursos hídricos y del clima en el desarrollo socioeconómico de la región, las posibles repercusiones del cambio climático son preocupantes y se asocian a los siguientes factores:

- Disminución de la disponibilidad de agua renovable.
- Mayor sobreexplotación de acuíferos.
- Incremento de la salinidad en acuíferos costeros y en acuíferos con alta evaporación.
- Disminución de la calidad del agua.
- Problemas de suministro y saneamiento.
- Impactos por sequías e inundaciones más frecuentes o más intensas.
- Mayor incidencia de inundaciones marinas costeras y de ríos en las zonas bajas, incluyendo deltas.
- Mayor riesgo de desastres en zonas con alta densidad poblacional tierra adentro y en zonas costeras.
- Concentración de sales superior a lo recomendado para consumo humano a causa de la elevación del nivel del mar en zonas con intrusión salina, lo que elevará el costo del tratamiento y tornar inviable su empleo agrícola.
- Mayor propensión a la erosión en las zonas elevadas a causa de lluvias intensas. Incremento de la duración, intensidad y frecuencia de las sequías por mayor evaporación y menor precipitación en regiones áridas y semiáridas.
- Mayores conflictos por el suministro de agua cada vez más escasa en condiciones de mayor demanda.
- Necesidad de administrar la demanda de usos consuntivos y no consuntivos como generación de energía eléctrica y transporte fluvial.
- Necesidad de ajustar la capacidad de almacenamiento a una mayor variación de la disponibilidad del recurso.

La cuantificación de estos impactos es difícil, con un alto grado de incertidumbre y más aún con respecto a sus costos económicos, sociales y ecológicos. No obstante, es posible identificar ciertos niveles de riesgo si se comparan posibles escenarios de oferta y demanda de agua a fin de estimar los costos potenciales de no actuar. Así, la metodología para evaluar los impactos de cambio climático en los recursos hídricos asume un escenario futuro de la disponibilidad y la demanda de agua sin cambio climático y luego estima el impacto del cambio climático en las variables bajo los escenarios de emisiones B2 y A2.

## DISPONIBILIDAD DE AGUA

La cantidad de agua disponible se mide con índices: disponibilidad de agua per cápita e intensidad de uso o de estrés hídrico (Jiménez y Asano, 2008). Ambos índices se basan en un cálculo simplificado de la disponibilidad de agua renovable.

Un método consiste en usar el coeficiente de escurrimiento superficial, el cual se calcula con base en el tipo y uso del suelo (SEMARNAT, 2000). Otro se basa en la estimación de la evapotranspiración o evaporación del agua más transpiración de la vegetación (Maderey y Jiménez, 2000). Este último es quizá el más adecuado porque, entre los factores que influyen en el volumen de agua disponible –precipitación, escurrimiento superficial y recarga del acuífero, entre otros–, la evapotranspiración es el más importante. El efecto más directo del cambio climático y del uso del suelo en el ciclo hidrológico es la alteración de este proceso, lo que influye en escurrimientos y calidad del agua (Dow y DeWalle, 2000). La estimación de la evapotranspiración supone considerar las complejas interacciones entre los sistemas suelo-plantas-atmósfera. Esto implica evaluar la radiación solar, el déficit de la presión del vapor, la humedad relativa, la velocidad del viento, la temperatura del aire, la naturaleza de la superficie de evaporación (localización geográfica, época del año) y la escala de tiempo considerada (análisis de la evaporación horaria, diaria, estacional, mensual, o anual).

El procedimiento de evaluación de la evapotranspiración usa varias fórmulas de fácil aplicación, ecuaciones de balance hídrico y modelos con información fisiográfica, meteorológica e hidrométrica detallada. Por ejemplo, los métodos de Coutgne, Turc, Keller, entre otros (Ruiz, 1999), permiten estimar el comportamiento global hídrico de una cuenca. Por otro lado, se ha encontrado que las ecuaciones de Thornthwaite (1948), Romanenko (1961), Penman (1948) y Turc (1961), a pesar de su simplicidad, proporcionan una buena estimación de la evaporación media anual (Xu y Singh, 1998). Las mejores predicciones se han obtenido de la aplicación de los métodos de Priestley y Taylor (1972), Turc (1961) y Hamon (1963) en el sureste de los Estados Unidos (Lu y otros, 2003).

La disponibilidad total de agua renovable es el volumen de agua repuesto cada año por la precipitación menos el que se pierde por evapotranspiración en un territorio determinado (balance hídrico). Este volumen es el que escurre o se almacena en cuerpos superficiales, o bien recarga los acuíferos y puede ser fácilmente usado. Este cálculo no ajusta la disponibilidad para un país del agua que fluye a través de sus fronteras. Para calcularlo en forma simplificada se emplea la ecuación (4.1) de acuerdo con (Turc, 1954):

$$(4.1) \quad D = [P - E] * A * F$$

$$(4.2) \quad E = \frac{P}{[0,9 + (P/\varphi)^2]^{0,5}}$$

$$\text{Donde} \quad \varphi = 300 + 25T + 0,05T^3$$

D = Disponibilidad (m<sup>3</sup>/año)

P = Precipitación acumulada anual (mm/año)

E = Evapotranspiración (mm/año)

T = Temperatura (°C)

A = Superficie (km<sup>2</sup>)

F = Factor conversión igual a 1.000

Ambas ecuaciones permiten estimar la disponibilidad de agua en un escenario base sin cambio climático y otros con cambio climático. La disponibilidad del escenario base se calculó con el promedio de 16 años de datos históricos de lluvia acumulada por año y de temperatura media anual entre 1990 y 2006. La disponibilidad con cambio climático se estimó con el promedio simple de lluvia acumulada y el de la temperatura media anual por país entre los años 2001 y 2100 con los escenarios B2 y A2.

Los cálculos consideran la disponibilidad por país. Por ello debe tenerse presente que no incluyen los ajustes derivados de los flujos recibidos de las cuencas transfronterizas, lo cual es importante para los países cuyas principales cuencas tienen una porción aguas arriba en países vecinos. Por ejemplo, el río Lempa para El Salvador con una parte de la cuenca en Honduras y Guatemala. En el futuro se podrá proponer mejorar la aproximación partiendo de un análisis a nivel de cuencas.

## DEMANDA DE AGUA

Los escenarios futuros de demanda de agua se diseñaron a partir de la demanda consuntiva de agua en 2005, considerando la homogeneidad, calidad y disponibilidad de información, reportada en el cuadro 4.1 por sector en función del escenario macroeconómico base sin cambio climático. La evolución futura del uso del agua municipal para la línea base sin cambio climático se calculó a partir del crecimiento poblacional y mantiene la dotación per cápita actual.<sup>2</sup> La de uso agrícola se calculó a partir del crecimiento del PIB sectorial y del consumo de agua por unidad del PIB actual. Para la industria sólo se consideró el crecimiento del sector. No se aplicaron factores de mejora de eficiencia del uso de agua.

$$(4.3) \quad A_{mun}_t = f(pob, dotación) \text{ demanda municipal}$$

$$(4.4) \quad A_{agro}_t = f(Y_{agro}) \text{ demanda sector agropecuario}$$

$$(4.5) \quad A_{indus}_t = f(Y_{indus}) \text{ demanda sector industrial}$$

Sobre las estimaciones se deben aclarar los siguientes aspectos. Un factor que influye en la demanda de agua es el precio, pero no fue posible obtener suficientes datos para calcular relaciones numéricas. Existe poca uniformidad de políticas de precios, las tarifas varían según el tamaño de las

<sup>2</sup> Según los datos del *World Water Council* reportados en el cuadro 4.1, los niveles de dotación per cápita son muy disímiles, lo que afecta los cálculos de los escenarios futuros. Se espera verificar estos datos con las instituciones socias del proyecto y las del sector.

comunidades y ciudades, generalmente existen subsidios, en algunos casos las tarifas incluyen los servicios de saneamiento y disposición de aguas servidas, todo lo anterior sumado a una deficiente medición del consumo. En general, la evidencia internacional señala que la elasticidad de la demanda en relación con el precio es muy baja, aun en países en desarrollo donde se cobra una tarifa más cercana al costo real. Otro aspecto es la mayor conciencia de ahorro de agua como resultado del mayor estrés hídrico y de la competencia entre usos en una misma región, lo cual no fue tomado en cuenta en este estudio.

Para estimar la variación de la demanda en escenarios con cambio climático se exploraron diversas opciones en función de la disponibilidad de datos y se establecieron los siguientes supuestos para el ejercicio actual.

No fue posible obtener series mensuales oficiales de consumo de agua municipal, las cuales permitirían hacer inferencias sobre los efectos estacionales y el impacto de variables climatológicas, en especial de la temperatura. En adición se deben mencionar los problemas de medición del consumo, la no diferenciación entre consumos industriales, comerciales y residenciales y los sistemas de tarifas. Ante esa situación se recurrió a la literatura especializada, encontrándose que son pocos los estudios sobre impactos del clima en la demanda municipal de agua, en contraste con la vasta literatura sobre la economía del desarrollo de los recursos hídricos. En función de la revisión de literatura se decidió considerar un incremento de 9 litros per cápita-día (lpcd) por grado centígrado de incremento de la temperatura. Esto es equivalente a un factor anual de 3,28 por cada grado de incremento de la temperatura. Así, se aplicó el factor  $(3,28/1\text{ }^{\circ}\text{C de } \Delta)$ , que resulta inversamente proporcional a la dotación municipal per cápita (véase el recuadro 4.1). A menor dotación de agua, mayor la demanda por cada grado de aumento de la temperatura (Miaou, 1990; Wong, 1972; Downing y otros, 2003).

Así, las formulas para el cálculo de la demanda municipal son:

$$U_M^{CC} = U_M^{SCC} * (1 + \Delta \%U_{Mpercap}^{CC})$$

$$U_M^{SCC} = Dot_{percap} * Pob$$

$$\Delta \%U_{percap}^{CC} = \left( \frac{\Delta^{\circ} C Tem * 3,28}{Dot_{Mpercap}} \right) * 100 \Delta \%$$

Donde:

$$U_M^{CC} = \text{Uso municipal con cambio climático (m}^3\text{/año).}$$

$$U_M^{SCC} = \text{Uso municipal sin cambio climático (m}^3\text{/año).}$$

$$\Delta \%U_{percap}^{CC} = \text{Incremento porcentual en el uso municipal per cápita de agua debido al cambio climático.}$$

$$\Delta^{\circ} C Tem = \text{Incremento de la temperatura en grados centígrados respecto al período base.}$$

$$Dot_{Mpercap} = \text{Dotación municipal per cápita base del año 2005 (m}^3\text{ per cápita anual)}$$

$$Pob = \text{Población}$$

**RECUADRO 4.1**  
**SUPUESTOS PARA ESTIMAR EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**EN LA DEMANDA DE AGUA MUNICIPAL**

En la literatura internacional se encontraron varios estudios que analizan la relación entre cambios de temperatura y consumo municipal del agua:

- Una evaluación del noroeste del estado de Illinois, EEUU, utilizó un modelo que considera el precio, el consumo promedio por vivienda y la temperatura promedio en verano. Se encontraron incrementos promedio de consumo por grado centígrado de incremento de la temperatura, que van de 0,6% para la ciudad de Chicago al 3,1% para las áreas suburbanas con una variación de temperatura entre 18 °C y 27 °C (Wong, 1972).
- Otro estudio de San Diego, California, EEUU, evalúa el consumo de agua municipal y su tendencia estacional a partir de tres componentes: impacto de la temperatura y presencia de días sin lluvia (precipitación cero); reducción de la demanda de agua con el inicio de las lluvias y un componente de error aleatorio (ruido blanco gaussiano). Los resultados de este estudio muestran incrementos del consumo de agua de 38 litros per cápita-día (lpcd) por grado centígrado de incremento de la temperatura (con una variación de temperatura entre 18 °C y 27 °C). Otra evaluación de la ciudad de Austin, Texas, considerando seis modelos, muestra un rango que va de 35 a 64 lpcd / °C (Miaou, 1990).
- Un estudio sobre impactos del cambio climático en la demanda de agua en ocho regiones de Inglaterra y Gales muestra incrementos del consumo municipal de agua entre 0,9% y 1,8% para el año 2020, y entre 2,7% y 3,7%, para el año 2050, considerando cuatro escenarios de emisiones de Gases a Efecto Invernadero (GEI), que se traducen en incrementos entre 2 y 8 lpcd promedio por año. Los modelos utilizados consideran análisis estadístico de la demanda municipal de agua, el juicio y criterio de expertos y simulaciones y optimización dinámica, considerando uso del suelo, cambios en el comportamiento de los individuos y prácticas de consumo (Downing y otros, 2003).

Teniendo como referencia los estudios anteriores, para el estudio de Centroamérica se adoptó una posición conservadora. La evaluación considera un incremento de 9 lpcd/°C (la cuarta parte o menos que la referencia de Texas), equivalente a 3,28 m<sup>3</sup>/hab-año-°C. En porcentaje, este incremento del consumo per cápita de agua municipal podría llegar al 0,8% anual en los países de mayor tasa demográfica con efecto combinado de aumento de temperatura y aumento de población.



Para la demanda agrícola se consideró el incremento de la demanda de agua de riego causada por aumento de la evaporación, resultado, a su vez, del aumento de temperatura. Así, el incremento del volumen de agua para riego es proporcional a la evaporación para que la lámina de riego compense la pérdida adicional de agua, manteniendo la misma proporción de tierra agrícola bajo riego que la actual.

Las formulas para estimar la demanda agrícola son las siguientes:

$$U_A^{CC} = U_A^{SCC} * (1 + \Delta \%U_A^{CC}) \text{ si } \Delta ^\circ\text{C Tem} > 0$$

$$U_A^{CC} = U_A^{SCC} \text{ si } \Delta ^\circ\text{C Tem} < 0$$

$$U_A^{SCC} = Ext_{2005} * \%Dot_A * (1 + \Delta \%PIB_A)$$

$$\Delta \%U_A^{CC} = (\Delta E / E) * 100$$

Donde:

$$U_A^{CC} = \text{Uso agrícola con cambio climático (m}^3\text{/año)}$$

$$U_A^{SCC} = \text{Uso agrícola sin cambio climático (m}^3\text{/año)}$$

$$\Delta \%U_A^{CC} = \text{Incremento porcentual del uso agrícola de agua debido al cambio climático.}$$

$$\Delta ^\circ\text{CTem} = \text{Incremento en grados centígrados de la temperatura respecto al período base}$$

$$Ext_{2005} = \text{Extracción de referencia, año 2005 (m}^3\text{/año)}$$

$$\%Dot_A = \text{Proporción de la dotación agrícola}$$

$$\Delta \%PIB_A = \text{Tasa de crecimiento del PIB agrícola}$$

$$\Delta E = \text{Incremento de la Evapotranspiración (mm/año)}$$

$$E = \text{Evapotranspiración (mm/año)}$$

Para la demanda de la industria, en ausencia de datos para establecer su relación con cambios en la precipitación y/o la temperatura en forma histórica o geográfica, se optó por dejar sin cambio el escenario con cambio climático a 2100 frente al escenario tendencial. Esta situación se debe de tomar en cuenta en la interpretación de los resultados.

#### 4.5 ESCENARIO DE DISPONIBILIDAD TOTAL RENOVABLE DE AGUA A 2100

Los cuadros 4.6 y 4.7 presentan respectivamente los escenarios B2 y A2 de la disponibilidad neta de agua según la metodología de Turc (1954), aunque sólo con el valor de la precipitación menos la evapotranspiración. Para distintos valores de temperatura media y precipitación acumulada anual se calculó la disponibilidad neta en milímetros (mm), utilizando el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4 para el escenario B2 y el promedio de HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para el escenario A2. Se puede observar que conforme aumenta la temperatura y disminuye la precipitación acumulada, disminuye la disponibilidad neta también. Los valores iniciales del año 2000 en los dos escenarios B2 y A2 no necesariamente son iguales ya que se usan las simulaciones históricas de cada escenario para derivar la anomalía correcta en cada caso.

Los resultados muestran la disponibilidad de agua por países para los años 2000, 2050 y 2100 en función de las proyecciones de temperatura y precipitación. En el caso del escenario B2, las reducciones de la disponibilidad son menores, y así las reducciones son las siguientes al año 2100: Nicaragua 51%, Belice 47%, Honduras y El Salvador 45%, Costa Rica 35%, Guatemala 32% y Panamá 23% (véase el cuadro 4.6).

Con A2, El Salvador, Honduras, Belice y Nicaragua sufrirán las mayores reducciones al 2100, mientras Costa Rica y Panamá serán los menos afectados en términos absolutos debido a su mayor disponibilidad neta inicial en el año 2000 y la probable menor reducción relativa en precipitación. Por ejemplo, Panamá, con la climatología de precipitación acumulada anual cercana a 2.650 mm y una temperatura media de alrededor de 25,5 °C, tuvo el año 2000 una disponibilidad neta de 1.157 mm. Para el año 2100, con A2, una climatología de la precipitación acumulada de 2.200 mm y una temperatura de 29 °C, tendrá una disponibilidad neta de 587 mm, aproximadamente, es decir, una disminución de 49%. El Salvador inicia con una climatología de precipitación acumulada de 1.718 mm y una temperatura media de 25 °C, las cuales generan un valor de disponibilidad neta de 464 mm. En el escenario A2, con una climatología de 1.181 mm de precipitación acumulada y 29,7 °C de temperatura media, tendría una disponibilidad de 89 mm, lo que representa una reducción de 81%. La reducción de la disponibilidad neta del año 2000 al año 2100 para el resto de los países es la siguiente: Honduras 78%, Nicaragua 76%, Belice 74%, Guatemala 66%, Costa Rica 59%.

**CUADRO 4.6**  
**CENTROAMÉRICA: VALORES DE LA DISPONIBILIDAD TOTAL RENOVABLE DEL AGUA EN FUNCIÓN**  
**DE LAS PROYECCIONES DE CLIMA EN EL ESCENARIO B2**  
 (Milímetros)

		Temperatura en ° C															
mm/año		23	23.5	24	24.5	25	25.5	26	26.5	27	27.5	28	28.5	29	29.5	30	
Precipitación (mm)	1,100	186	174	163	152	141	131	121	111	102	93	85	77	70	63	56	
	1,150	211	198	186	174	162	150	140	129	119	110	100	92	83	76	68	
	1,200	238	223	210	197	184	172	160	148	137	127	117	107	98	89	81	
	1,250	265	250	235	221	207	194	181	169	157	145	134	124	114	104	95	
	1,300	293	277	262	246	232	217	203	190	177	165	153	141	130	120	110	
	1,350	323	306	289	273	257	242	227	213	199	185	172	160	148	137	126	
	1,400	354	336	318	301	284	267	252	236	221	207	193	180	167	155	143	
	1,450	386	366	348	329	312	294	277	261	245	230	215	200	187	173	161	
	1,500	418	398	378	359	340	322	304	286	270	253	237	222	207	193	180	
	1,550	452	431	410	390	370	351	332	313	295	278	261	245	229	214	199	
	1,600	486	464	443	421	401	380	360	341	322	303	286	268	252	236	220	
	1,650	521	499	476	454	432	411	390	369	349	330	311	293	275	258	242	
	1,700	557	534	510	487	464	442	420	399	378	357	338	318	300	282	264	
	1,750	594	569	545	521	497	474	451	429	407	386	365	345	325	306	287	
	1,800	631	606	581	556	531	507	483	460	437	415	393	372	351	331	312	
	1,850	669	643	617	591	566	541	516	492	468	445	422	400	378	357	337	
	1,900	708	681	654	628	601	575	550	524	500	475	451	428	406	384	362	
	1,950	747	719	692	664	637	610	584	558	532	507	482	458	434	411	389	
	2,000	787	758	730	702	674	646	619	592	565	539	513	488	463	439	416	
	2,050	827	798	769	740	711	682	654	626	599	571	545	519	493	468	444	
	2,100	868	838	808	778	749	719	690	661	633	605	577	550	524	498	473	
	2,150	909	878	848	817	787	757	727	697	668	639	611	583	555	528	502	
	2,200	950	919	888	857	826	795	764	734	703	674	644	616	587	559	532	
	2,250	992	961	929	897	865	833	802	770	740	709	679	649	620	591	563	
	2,300	1,035	1,002	970	937	905	872	840	808	776	745	714	683	653	623	594	
	2,350	1,077	1,044	1,011	978	945	912	879	846	813	781	749	718	687	656	626	
	2,400	1,120	1,087	1,053	1,019	985	952	918	884	851	818	785	753	721	690	659	
	2,450	1,164	1,130	1,095	1,061	1,026	992	958	923	889	855	822	789	756	724	692	
2,500	1,207	1,173	1,138	1,103	1,068	1,033	996	963	928	893	859	825	791	758	726		
2,550	1,251	1,216	1,181	1,145	1,109	1,074	1,038	1,002	967	931	896	862	827	793	760		
2,600	1,295	1,260	1,224	1,188	1,152	1,115	1,079	1,042	1,006	970	934	899	864	829	794		
2,650	1,340	1,304	1,267	1,231	1,194	1,157	1,120	1,083	1,046	1,009	973	936	900	865	830		
2,700	1,385	1,348	1,311	1,274	1,237	1,199	1,161	1,124	1,086	1,049	1,011	974	938	901	865		
2,750	1,429	1,392	1,355	1,317	1,280	1,241	1,203	1,165	1,127	1,089	1,051	1,013	975	938	901		
2,800	1,475	1,437	1,399	1,361	1,323	1,284	1,245	1,207	1,168	1,129	1,090	1,052	1,013	975	938		
2,850	1,520	1,482	1,444	1,405	1,366	1,327	1,288	1,248	1,209	1,170	1,130	1,091	1,052	1,013	975		
2,900	1,565	1,527	1,489	1,450	1,410	1,370	1,331	1,291	1,251	1,210	1,170	1,131	1,091	1,051	1,012		
2,950	1,611	1,573	1,533	1,494	1,454	1,414	1,374	1,333	1,292	1,252	1,211	1,170	1,130	1,090	1,050		
3,000	1,657	1,618	1,579	1,539	1,498	1,458	1,417	1,376	1,335	1,293	1,252	1,211	1,170	1,129	1,088		

Belice

Costa Rica

El Salvador

Guatemala

Honduras

Nicaragua

Panamá



Nota: Los cálculos fueron hechos con la metodología de Turc (1954) e información de la temperatura y precipitación de cada país en los escenarios B2 con el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4. Para el año 2000 (primer cuadro sombreado para cada país) se tomó la climatología 1980-2000; para el año 2050 (segundo cuadro sombreado para cada país) se tomó la de 2040-2060 y para el 2100 (tercer cuadro sombreado para cada país) la del promedio de 2090-2100. Los valores de cada país se han redondeado en función de las escalas de los ejes en este cuadro.

Fuente: Elaboración propia.



**CUADRO 4.7**  
**CENTROAMÉRICA: VALORES DE LA DISPONIBILIDAD TOTAL RENOVABLE DEL AGUA EN FUNCIÓN**  
**DE LAS PROYECCIONES DE CLIMA EN EL ESCENARIO A2**

(Milímetros)

Temperatura en ° C

mm/año	23	23,5	24	24,5	25	25,5	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30
1 100	186	174	163	152	141	131	121	111	102	93	85	77	70	63	56
1 150	211	198	186	174	162	150	140	129	119	110	100	92	83	76	68
1 200	238	223	210	197	184	172	160	148	137	127	117	107	98	89	81
1 250	265	250	235	221	207	194	181	169	157	145	134	124	114	104	95
1 300	293	277	262	246	232	217	203	190	177	165	153	141	130	120	110
1 350	323	306	289	273	257	242	227	213	199	185	172	160	148	137	126
1 400	354	336	318	301	284	267	252	236	221	207	193	180	167	155	143
1 450	386	366	348	329	312	294	277	261	245	230	215	200	187	173	161
1 500	418	398	378	359	340	322	304	286	270	253	237	222	207	193	180
1 550	452	431	410	390	370	351	332	313	295	278	261	245	229	214	199
1 600	486	464	443	421	401	380	360	341	322	303	286	268	252	236	220
1 650	521	499	476	454	432	411	390	369	349	330	311	293	275	258	242
1 700	557	534	510	487	464	442	420	399	378	357	338	318	300	282	264
1 750	594	569	545	521	497	474	451	429	407	386	365	345	325	306	287
1 800	631	606	581	556	531	507	483	460	437	415	393	372	351	331	312
1 850	669	643	617	591	566	541	516	492	468	445	422	400	378	357	337
1 900	708	681	654	628	601	575	550	524	500	475	451	428	406	384	362
1 950	747	719	692	664	637	610	584	558	532	507	482	458	434	411	389
2 000	787	758	730	702	674	646	619	592	565	539	513	488	463	439	416
2 050	827	798	769	740	711	682	654	626	599	571	545	519	493	468	444
2 100	868	838	808	778	749	719	690	661	633	605	577	550	524	498	473
2 150	909	878	848	817	787	757	727	697	668	639	611	583	555	528	502
2 200	950	919	888	857	826	795	764	734	703	674	644	616	587	559	532
2 250	992	961	929	897	865	833	802	770	740	709	679	649	620	591	563
2 300	1 035	1 002	970	937	905	872	840	808	776	745	714	683	653	623	594
2 350	1 077	1 044	1 011	978	945	912	879	846	813	781	749	718	687	656	626
2 400	1 120	1 087	1 053	1 019	985	952	918	884	851	818	785	753	721	690	659
2 450	1 164	1 130	1 095	1 061	1 026	992	958	923	889	855	822	789	756	724	692
2 500	1 207	1 173	1 138	1 103	1 068	1 033	998	963	928	893	859	825	791	758	726
2 550	1 251	1 216	1 181	1 145	1 109	1 074	1 038	1 002	967	931	896	862	827	793	760
2 600	1 295	1 260	1 224	1 188	1 152	1 115	1 079	1 042	1 006	970	934	899	864	829	794
2 650	1 340	1 304	1 267	1 231	1 194	1 157	1 120	1 083	1 046	1 009	973	936	900	865	830
2 700	1 385	1 348	1 311	1 274	1 237	1 199	1 161	1 124	1 086	1 049	1 011	974	938	901	865
2 750	1 429	1 392	1 355	1 317	1 280	1 241	1 203	1 165	1 127	1 089	1 051	1 013	975	938	901
2 800	1 475	1 437	1 399	1 361	1 323	1 284	1 245	1 207	1 168	1 129	1 090	1 052	1 013	975	938
2 850	1 520	1 482	1 444	1 405	1 366	1 327	1 288	1 248	1 209	1 170	1 130	1 091	1 052	1 013	975
2 900	1 565	1 527	1 489	1 450	1 410	1 370	1 331	1 291	1 251	1 210	1 170	1 131	1 091	1 051	1 012
2 950	1 611	1 573	1 533	1 494	1 454	1 414	1 374	1 333	1 292	1 252	1 211	1 170	1 130	1 090	1 050
3 000	1 657	1 618	1 579	1 539	1 498	1 458	1 417	1 376	1 335	1 293	1 252	1 211	1 170	1 129	1 088



Nota: Los cálculos fueron hechos con la metodología de Turc (1954) e información de la temperatura y precipitación de cada país en los escenarios A2 con el promedio HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5. Para el año 2000 (primer cuadro sombreado para cada país) se tomó la climatología 1980-2000; para el año 2050 (segundo cuadro sombreado para cada país) se tomó la de 2040-2060 y para el 2100 (tercer cuadro sombreado para cada país) la del promedio de 2090-2100. Los valores de cada país se han redondeado en función de las escalas de los ejes en este cuadro.

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 4.8 y el gráfico 4.3 muestran las estimaciones de la disponibilidad total de agua renovable en los escenarios base, B2 y A2, utilizando la información de la precipitación acumulada anual y la temperatura media para la fórmula Turc completa (véase la ecuación 4.1) y para los cortes 2000, 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100 con promedios de los diez años anteriores relativo al promedio de 2000-2004. La diferencia entre este cálculo y los reportados en los cuadros 4.6 y 4.7 son las unidades,

pues en el primer cálculo la disponibilidad total está medida en milímetros, mientras que en el siguiente la disponibilidad total se mide en miles de millones de metros cúbicos por año, ya que la conversión se obtiene al multiplicar la primera disponibilidad por la superficie y por 1.000. En el gráfico 4.3 el nivel de la disponibilidad renovable total en el escenario base de 2005 se representan con la línea verde oscuro y el volumen ecológico con la línea morada cortada. En los gráficos se presentan los resultados como promedio móvil de los diez años anteriores para identificar más fácilmente la tendencia de la disponibilidad total de agua renovable de cada país. Se presentan además los incrementos porcentuales de cada corte respecto al año 2000 para cada uno de los escenarios (véase el cuadro 4.8). Los valores del año 2000 para los escenarios A2 y B2 son estimaciones con sus respectivas simulaciones de precipitación y temperatura promedio, así la variación porcentual se calculó respecto a la información del mismo escenario.

Los resultados del cuadro 4.8 y el gráfico 4.3 muestran que:

- A nivel nacional y regional, la disponibilidad total de agua se reduce significativamente más en el escenario A2 que en el B2. Las estimaciones al año 2100 en el escenario A2 reflejan una disminución promedio de 63% de la disponibilidad de agua respecto al año 2000. La reducción de la disponibilidad en el escenario B2 al 2100 se estima en 35%.
- A partir de la información del cuadro 4.8 se obtiene que en ambos escenarios la disponibilidad promedio de la región no bajaría significativamente o que podría incrementarse ligeramente hasta 2030, especialmente en el escenario B2, para luego decaer significativamente.
- Las reducciones son significativamente más altas en las últimas tres décadas del siglo, especialmente en A2.
- El Salvador es el país con la mayor pérdida de disponibilidad al 2100: en el escenario A2 se estima una reducción del 82%, mientras que en B2 la reducción podría ser del 50%.
- La disponibilidad no toma en cuenta el agua que fluya a través de las fronteras.

**CUADRO 4.8**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD TOTAL RENOVABLE DE AGUA,**  
**POR ESCENARIOS BASE, B2 Y A2, 2000-2004 A 2100**

(En miles de millones de metros cúbicos por año y variación porcentual con respecto al promedio 2000-2004 de cada escenario)

Escenario	Belice						Variación (porcentajes)				
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	18,33	18,33	18,33	18,33	18,33	18,33	0	0	0	0	0
B2	17,74	16,65	18,33	14,81	12,58	10,26	-6	3	-17	-29	-42
A2	14,32	15,31	17,97	11,09	9,71	5,20	7	25	-23	-32	-64
Escenario	Costa Rica						Variación (porcentajes)				
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	72,86	72,86	72,86	72,86	72,86	72,86	0	0	0	0	0
B2	77,48	68,29	64,73	69,58	69,42	47,26	-12	-16	-10	-10	-39
A2	73,66	71,50	71,23	54,09	47,81	28,89	-3	-3	-27	-35	-61
Escenario	El Salvador						Variación (porcentajes)				
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	10,60	10,60	10,60	10,60	10,60	10,60	0	0	0	0	0
B2	10,92	10,41	11,16	9,89	9,61	5,41	-5	2	-9	-12	-50
A2	9,85	9,21	9,27	5,51	4,84	1,80	-6	-6	-44	-51	-82
Escenario	Guatemala						Variación (porcentajes)				
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	154,9	0	0	0	0	0
B2	145,5	147,2	150,9	137,0	124,3	103,3	1	4	-6	-15	-29
A2	134,0	128,6	140,7	100,9	92,2	51,1	-4	-5	-25	-31	-62

(Continúa)



(Continuación Cuadro 4.8)

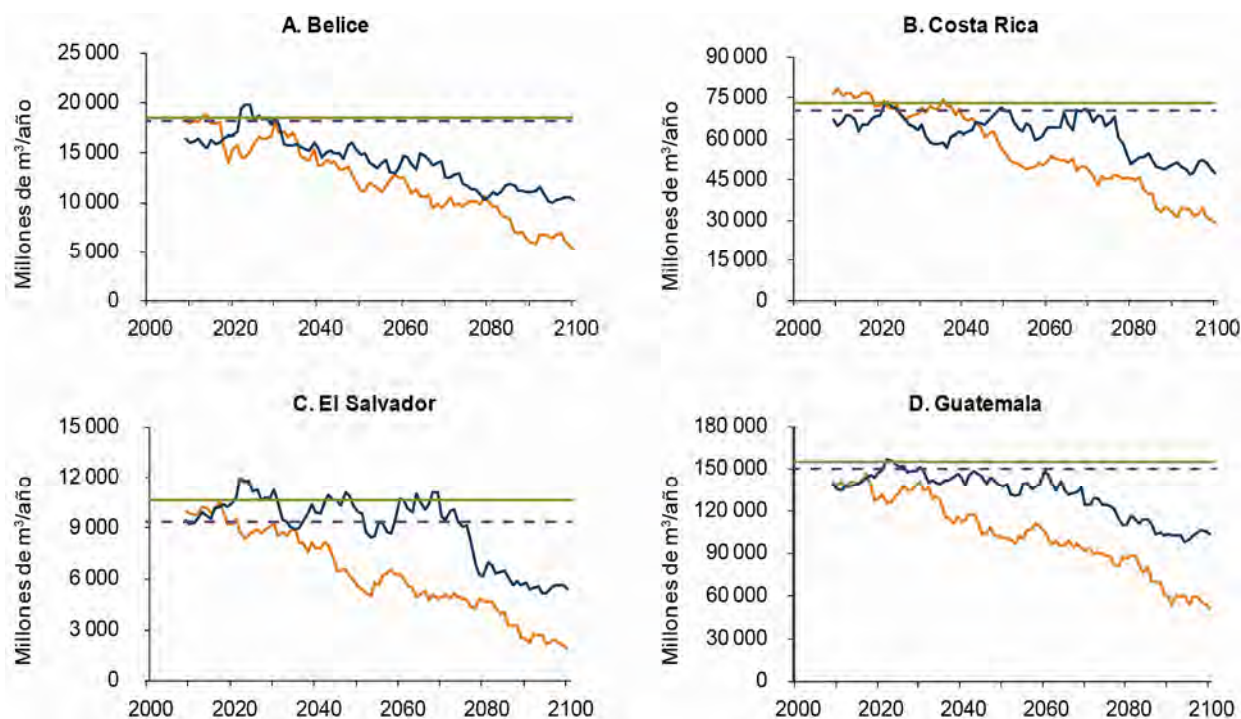
Escenario	Honduras							Variación (porcentajes)			
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	82,77	82,77	82,77	82,77	82,77	82,77	0	0	0	0	0
B2	84,11	77,69	89,03	71,40	66,80	46,51	-8	6	-15	-21	-45
A2	73,50	79,15	82,53	48,90	43,54	22,66	8	12	-33	-41	-69
Escenario	Nicaragua							Variación (porcentajes)			
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	128,0	128,0	128,0	128,0	128,0	128,0	0	0	0	0	0
B2	124,0	121,0	132,6	117,4	115,1	65,8	-2	7	-5	-7	-47
A2	126,5	135,0	130,2	81,4	66,1	37,3	7	3	-36	-48	-71
Escenario	Panamá							Variación (porcentajes)			
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	94,24	94,24	94,24	94,24	94,24	94,24	0	0	0	0	0
B2	83,36	98,57	90,00	75,43	80,72	72,32	18	8	-10	-3	-13
A2	94,96	91,05	88,66	73,16	66,49	46,76	-4	-7	-23	-30	-51
Escenario	Centroamérica							Variación (porcentajes)			
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	561,7	561,7	561,7	561,7	561,7	561,7	0	0	0	0	0
B2	543,1	539,8	556,8	495,5	478,5	350,9	-1	3	-9	-12	-35
A2	526,8	529,8	540,6	375,1	330,7	193,7	1	3	-29	-37	-63

Nota: Los cálculos se hicieron con el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4 para el escenario B2 y con el promedio de los modelos HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para el escenario A2. La información del año 2000 corresponde al promedio 2000-2004 y fue estimada con la simulación de las variables climáticas de cada escenario. Para los cortes de 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100 se utilizó el Promedio Móvil M10, que es el valor medio de las últimas diez observaciones, incluido el año indicado.

Fuente: Elaboración propia.

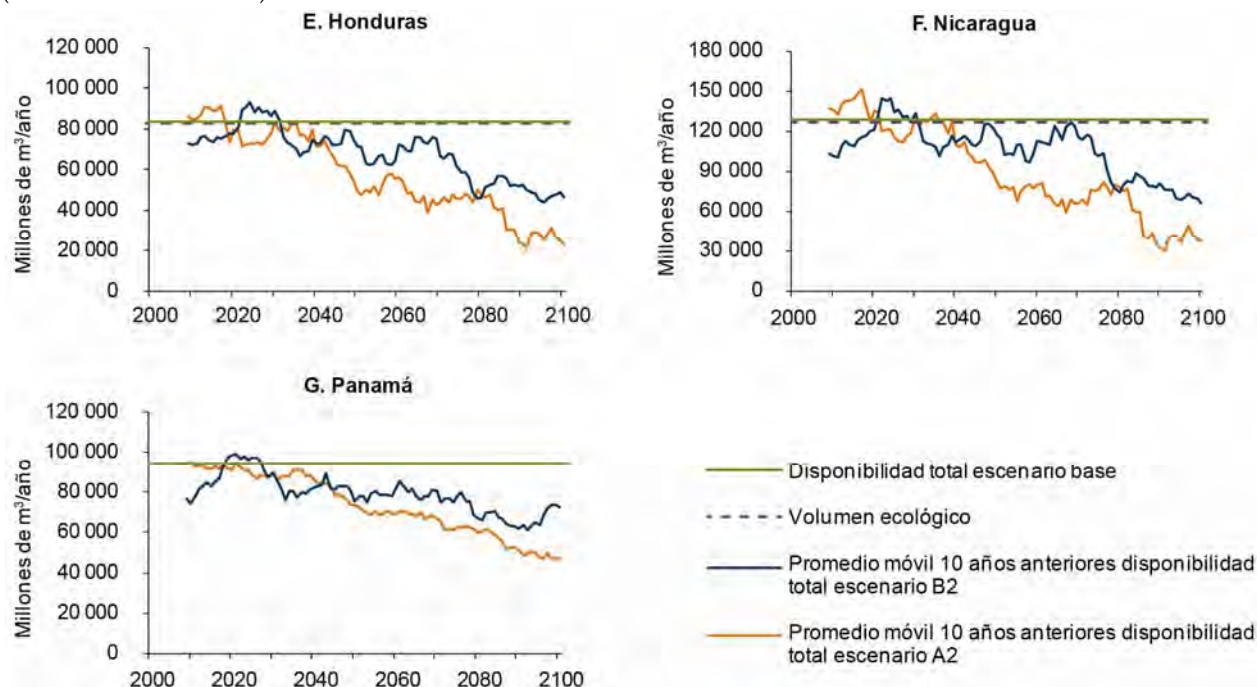
**GRÁFICO 4.3**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD TOTAL RENOVABLE DE AGUA,**  
**POR ESCENARIOS BASE, B2 Y A2, 2000-2004 A 2100**

(En millones de metros cúbicos por año con promedios simples de tres modelos)



(Continúa)

(Continuación Gráfico 4.3)



Fuente: Elaboración propia.

La disponibilidad per cápita renovable total en el escenario base, que considera la evolución de la economía y de la población, y en los escenarios de cambio climático tendría reducciones substantivas. El cuadro 4.9 y el mapa 4.4 muestran la evolución de esta disponibilidad medida en  $\text{m}^3$  por habitante al año. El cuadro 4.9 compara la disponibilidad en 2005 con el escenario base y los escenarios B2 y A2 al año 2100. El mapa 4.4 presenta la estimación para 2050 y 2100 e incluye el límite de estrés hídrico (véase el cuadro 4.2). Por último, el gráfico 4.4 compara la disponibilidad de agua per cápita de los países en 2005 y en los tres escenarios a 2100: escenario base sin cambio climático y escenarios B2 y A2.

En resumen, el cambio entre la disponibilidad per cápita en 2005 y el escenario base a 2100 presenta las siguientes características:

- La reducción promedio de la región entre 2005 y 2100 es de 36% con un rango entre el 59% para Guatemala y el 21% para Costa Rica. En términos absolutos El Salvador tendría la menor disponibilidad per cápita con 1.366  $\text{m}^3$  per cápita anual. Belice sufriría una reducción de 43% en este escenario al pasar de 66.429  $\text{m}^3$  por habitante a 37.558  $\text{m}^3$ . Aun así, su disponibilidad per cápita seguiría siendo alta.
- Hacia el 2050, Belice, Nicaragua, Costa Rica y Panamá sufren reducciones pero la disponibilidad se mantendría arriba de 10.000  $\text{m}^3$  per cápita anual, mientras que Guatemala y Honduras tendrían una disponibilidad inferior a los 10.000  $\text{m}^3$  y El Salvador estaría por debajo de los 1.700  $\text{m}^3$  y bajo estrés hídrico.
- En la segunda parte del siglo, todos los países sufren reducciones adicionales, y Guatemala baja al rango de 2.000 a 5.000  $\text{m}^3$  per cápita anual debido al crecimiento de la población.

Con cambio climático se tienen los siguientes resultados:

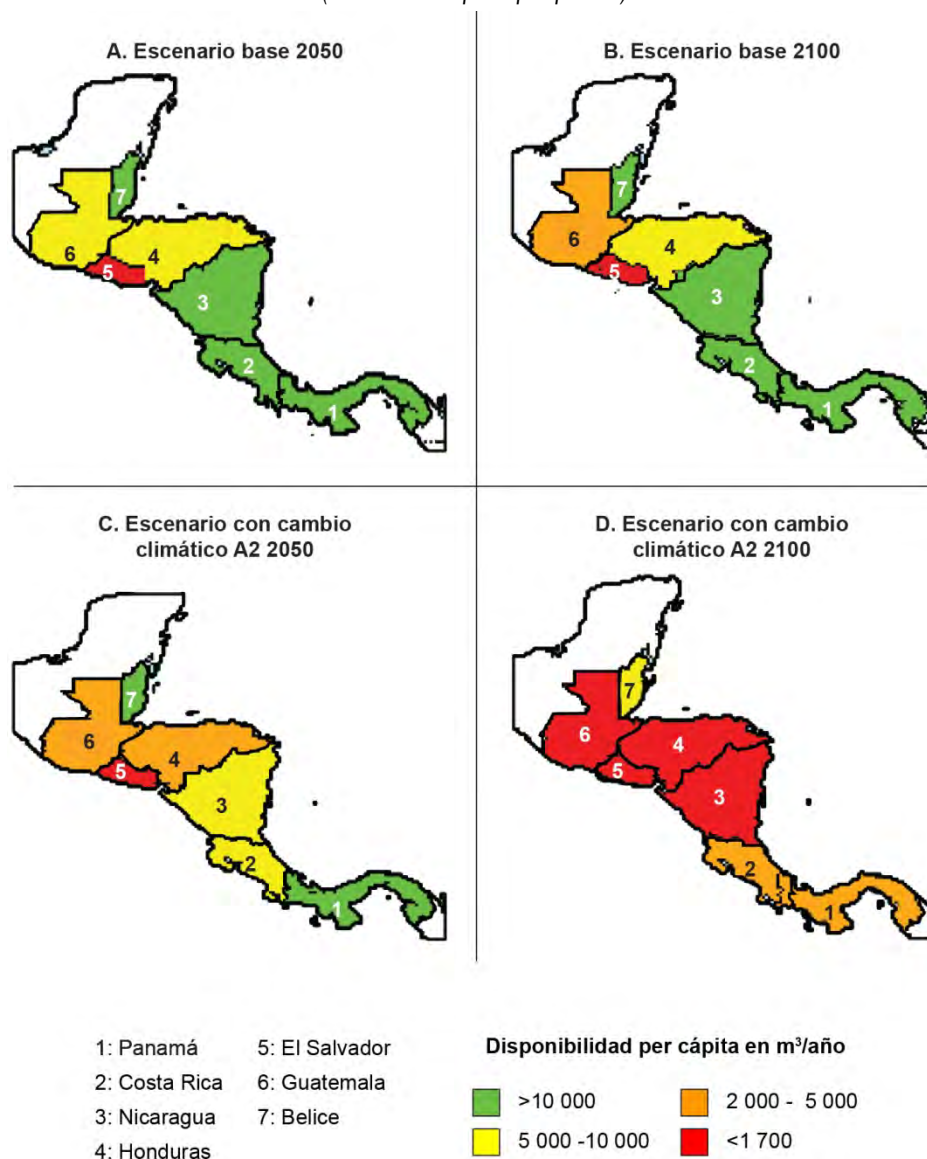
- El efecto en los escenarios de cambio climático es muy significativo. La reducción promedio de la región a 2100 sería de 82% con B2 y de 90% con A2 relativo al 36% en el escenario base.
- Con B2 el rango de reducciones va del 73% en Costa Rica al 88% en Honduras a 2100. No obstante, en términos absolutos Honduras quedaría bajo el límite de estrés hídrico. El Salvador llegaría a un nivel de disponibilidad aún más bajo, menos de 400 m<sup>3</sup> per cápita al año. Belice mantiene la mayor disponibilidad per cápita en la región.
- Con A2 el rango de reducciones va del 77% en Panamá al 97% en Nicaragua. Costa Rica y Panamá tendrán disminución de 84% y 77%, respectivamente, el año 2100, sin llegar al estrés hídrico. Honduras y Nicaragua caerían debajo de este límite, donde ya se encontraba El Salvador, aun en el escenario base. No obstante, el promedio regional se mantendrá arriba de este límite con casi 2.500 m<sup>3</sup>, sobre todo por la disponibilidad en Belice y Panamá. Este último queda con la mayor disponibilidad, sobrepasando a Belice (véanse el cuadro 4.9 y el mapa 4.5).

**CUADRO 4.9**  
**CENTROAMÉRICA: REDUCCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PER CÁPITA,**  
**ESCENARIOS BASE, B2 Y A2, 2005 A 2100**  
(Metros cúbicos per cápita por año y porcentaje de reducción)

País	DISPONIBILIDAD PER CÁPITA m <sup>3</sup> /año				REDUCCIÓN EN DISPONIBILIDAD, %		
	2005	Escenario Base	Escenario B2	Escenario A2	Reducción de escenario base, %	Reducción escenario B2, %	Reducción escenario A2, %
		Al final período	Al final período	Al final período	Al final período	Al final período	Al final período
Belice	66 429	37 558	10 826	5 051	43	84	92
Costa Rica	16 859	13 389	4 572	2 730	21	73	84
El Salvador	1 752	1 366	374	122	22	79	93
Guatemala	12 197	5 019	2 211	1 467	59	82	88
Honduras	12 008	6 680	1 453	482	44	88	96
Nicaragua	23 486	16 772	3 857	765	29	84	97
Panamá	29 193	20 064	5 382	6 681	31	82	77
Centroamérica	23 132	14 407	4 097	2 471	36	82	90

Fuente: Elaboración propia.

**MAPA 4.4**  
**CENTROAMÉRICA: DISPONIBILIDAD PER CÁPITA DEL AGUA PARA EL ESCENARIO BASE**  
**Y A2 REFERIDOS AL ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO, EN 2050 Y 2100**  
*(Metros cúbicos per cápita por año)*

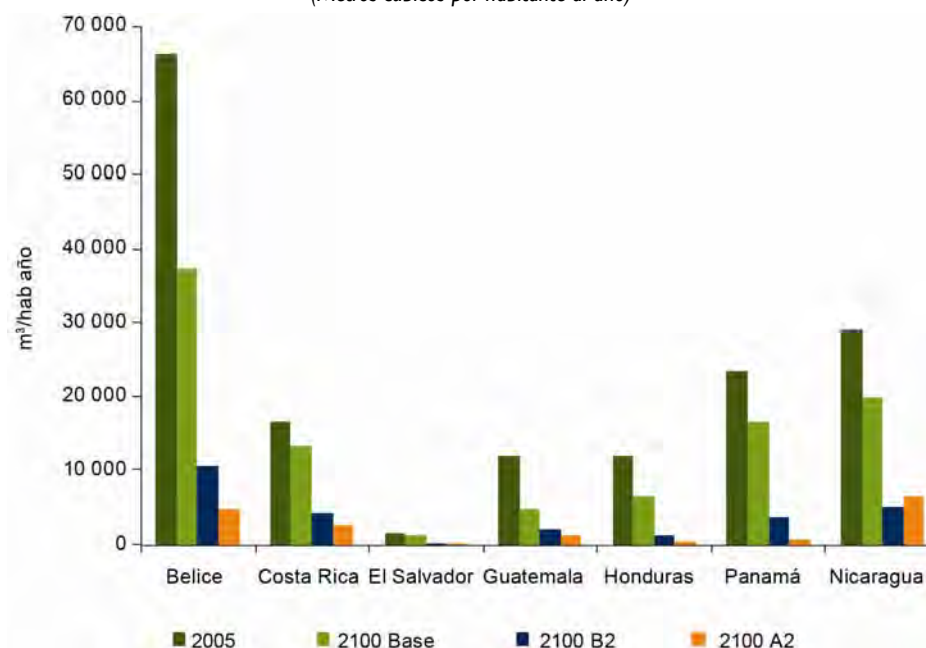


Nota: Los cálculos se hicieron con el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4 para el escenario B2 y con el promedio de los modelos HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para el escenario A2.

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 4.4 compara la disponibilidad per cápita en 2005 con la de los escenarios base, A2 y B2 en 2100. De nuevo se evidencia la reducción en el escenario base y una mayor reducción con cambio climático, especialmente en A2. Este gráfico presenta los montos de disponibilidad por el año 2100 sin promedio móvil, mientras que en el cuadro 4.8 y el gráfico 4.3 se registra la disponibilidad total con los promedios móviles de los últimos diez años. En el caso de Panamá, el escenario A2 termina con menor disponibilidad que en B2 con este promedio móvil.

**GRÁFICO 4.4**  
**CENTROAMÉRICA: DISPONIBILIDAD PER CÁPITA DE AGUA**  
**EN 2005 Y CON ESCENARIOS BASE, B2 Y A2 EN 2100**  
*(Metros cúbicos por habitante al año)*



Nota: Los datos del año 2100 corresponden a la información proyectada para ese año.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.6 ESCENARIOS DE DEMANDA DE AGUA A 2100

### DEMANDA A NIVEL REGIONAL

La demanda de agua sin cambio climático fue calculada con las ecuaciones 4.3, 4.4 y 4.5 bajo los supuestos ya presentados. No se aplicó ninguna variable de mejora tecnológica, entonces la demanda municipal aumenta con la población, manteniendo la misma dotación per cápita. Para agricultura e industria los cálculos se hicieron en función del crecimiento de los respectivos PIB sectoriales. Igualmente, se realizaron las estimaciones del impacto del cambio climático con los supuestos ya presentados para demanda municipal y agrícola y con las variables climáticas del escenario B2 según el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4, y el escenario A2 según el promedio de HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5. Para la demanda de la industria, en ausencia de datos para establecer su relación con cambios en la precipitación y/o la temperatura en forma histórica o geográfica, se optó por dejar sin cambio el escenario con cambio climático a 2100 frente al escenario tendencial, lo cual se debe tener presente en la interpretación de los resultados. Las diferencias entre los valores iniciales de la demanda en los dos escenarios comparados con el escenario base se deben a las simulaciones históricas de cada escenario, lo cual permite derivar correctamente la variación en cada caso.

El gráfico 4.5 y los cuadros 4.10 y 4.11 muestran la evolución de la demanda total de agua por sector en toda la región, con el escenario base sin cambio climático y los escenarios A2 y B2 de cambio climático. Lo que se encuentra es lo siguiente:

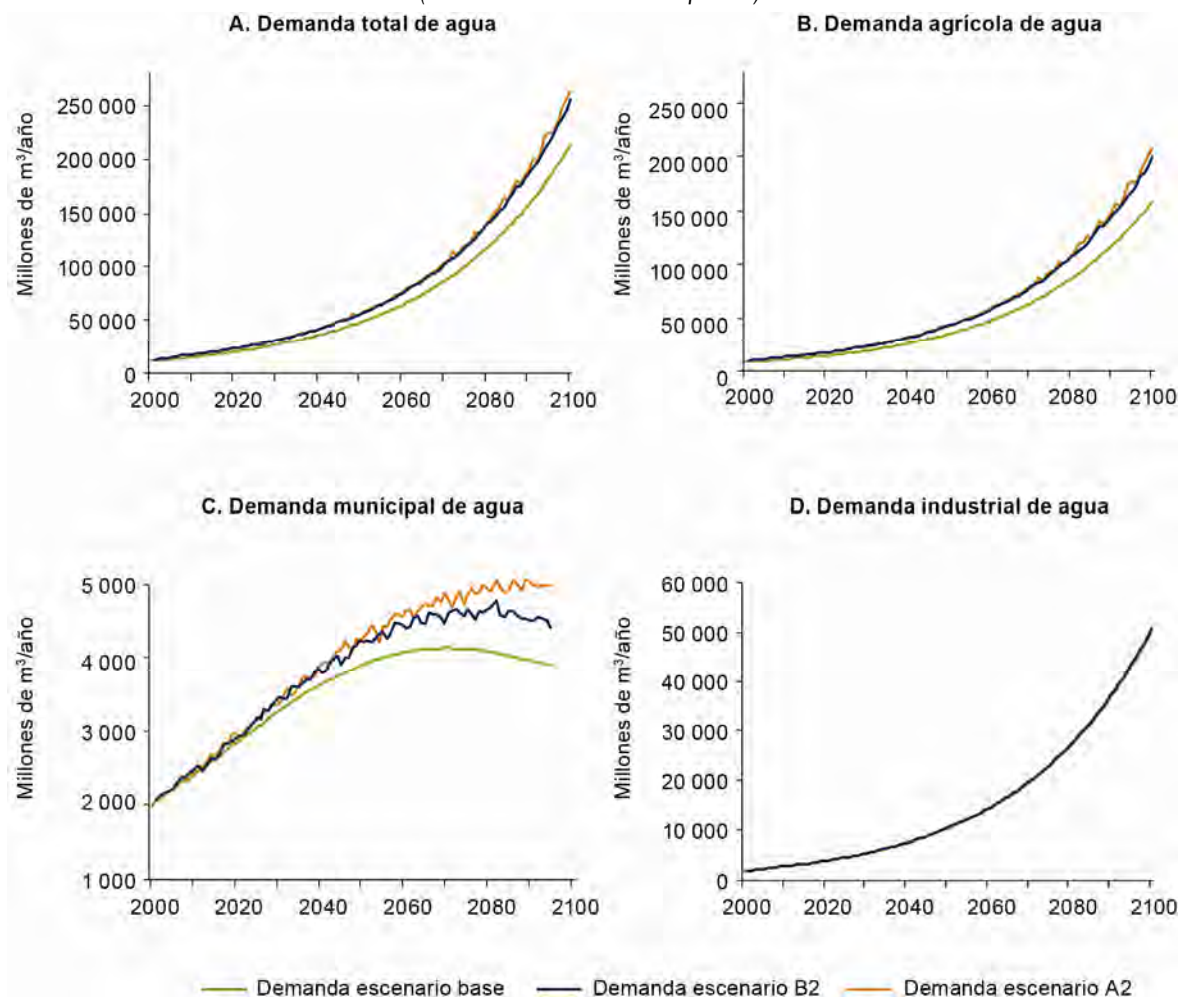


- Para Centroamérica la demanda total de agua en el escenario sin cambio climático partiendo de 2000 crece 296% al 2050 y 1.633% al 2100, aumentando de 12.867 millones de m<sup>3</sup> a 212.945 millones de m<sup>3</sup>. Al final del siglo, la distribución de consumo es 2% municipal, 75% agrícola y 24% industrial en el escenario base.
- Con los escenarios B2 y A2, el consumo total aumenta 364% al año 2050. Para el año 2100 el consumo crece 1.976% en B2 (hasta 255.124 millones de m<sup>3</sup>) y 2.039% en A2 (hasta 263.206 millones de m<sup>3</sup>). Entonces, en este año el consumo en B2 es 20% superior al del escenario base a 2100; y con A2 el valor es 24% mayor. Al final del siglo, la distribución del consumo con A2 podría ser 2% municipal, 79% agrícola y 20% industrial.
- Como la demanda del sector agrícola es mayor que la del resto en términos absolutos, aumenta de aproximadamente 8.378 millones de m<sup>3</sup> en 2000 a 158.871 millones de m<sup>3</sup> en el escenario base a 2100, y a 200.569 y 208.101 millones de m<sup>3</sup> en B2 y A2, respectivamente (véase el cuadro 4.11).
- El sector municipal es el que menos agua demandará. Como se observa en el gráfico, la demanda en la primera mitad del siglo tendrá un incremento importante y similar en los tres escenarios debido al aumento en población. En los últimos treinta años del siglo, la demanda se reduce en este sector en el escenario base y B2, pero en A2 sigue aumentando (véase el gráfico 4.5).
- En el escenario base, Guatemala es el país con la mayor demanda de agua, 45% en 2050 y 43% en 2100. Le sigue Costa Rica con 23% y 22% (véase el cuadro 4.10). En el primer caso los factores determinantes son la extensión territorial y el tamaño de la población; en el segundo son la actividad económica y el tamaño de la población.
- Los países con la menor proporción de demanda de agua respecto al total regional son Belice y El Salvador con 1% y 5%, respectivamente, para el año 2050. Para el 2100, Belice disminuye su participación a cerca de 0% y El Salvador a 3%. Honduras mantendría su participación en 8%, Nicaragua la aumentaría de 10% a 13% y Panamá de 8% a 10% de 2050 a 2100 (véase el cuadro 4.10).
- En el sector municipal, Guatemala, El Salvador y Costa Rica son los países con mayor demanda al 2100, con una participación de 53%, 20% y 15%, respectivamente. Para Guatemala esto se explica por ser el país con mayor población (véase el cuadro 4.10).
- La distribución de la demanda de agua del sector agrícola para el 2100 quedaría así: Guatemala más de 50%, Costa Rica 17% y Nicaragua 15% (véase el cuadro 4.10).
- En el sector industrial, Costa Rica, Panamá y Guatemala son los países con mayor demanda de agua al 2100 en el escenario base. Su participación sería: 39%, 29% y 19%, respectivamente, lo cual es consistente con la mayor actividad industrial prevista (véase el cuadro 4.10).
- Los escenarios con cambio climático arrojan una mayor demanda agrícola que el escenario base, particularmente en la segunda mitad del siglo. A 2100 la demanda en el escenario base habría aumentado casi 1.800% sobre 2000. Con B2 subiría 26% y con A2 31% adicional. La diferencia entre B2 y A2 para este sector se debe a la variabilidad de la evapotranspiración de A2 relacionada con mayor variabilidad de la precipitación. En

los dos escenarios con cambio climático, al año 2100 Guatemala terminará con una participación de demanda de agua agrícola respecto al total regional de 49%, Costa Rica 17%, Nicaragua 16%, Honduras 10%, Panamá 5% y El Salvador 3%.

- Según los supuestos utilizados, después del año 2050 la brecha entre los escenarios A2 y B2 en la demanda municipal se hace más grande tanto entre estos dos escenarios como respecto al escenario base. Mientras que en este último la demanda aumentaría 89% a 2100, en B2 aumentaría 13% y en A2 aumentaría 27% adicional al escenario base. La participación en la demanda total de agua en los escenarios de cambio climático sería dominado por Guatemala, El Salvador y Costa Rica con más de 51%, 18%, y 13%, respectivamente.

**GRÁFICO 4.5**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA CON**  
**ESCENARIOS BASE, B2 Y A2, 2000-2100**  
(En millones de metros cúbicos por año)



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 4.10**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA TOTAL, MUNICIPAL, AGRÍCOLA**  
**E INDUSTRIAL CON ESCENARIO BASE, B2 Y A2, 2000 A 2100**

*(En millones de metros cúbicos por año y porcentajes de variación respecto a 2000)*

<b>Demanda total</b>											
<b>Escenario</b>	<b>2000</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>	<b>Variación respecto al año 2000</b>				
							<i>(Porcentajes)</i>				
							<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>
Base	12 286,5	20 740,5	27 453,0	48 625,7	87 343,4	212 944,7	69	123	296	611	1 633
B2	12 306,4	23 926,8	31 659,8	57 096,6	103 399,4	255 626,2	94	157	364	740	1 977
A2	12 242,4	23 876,0	31 442,4	56 855,9	103 123,2	263 708,6	95	157	364	742	2 054
<b>Demanda municipal</b>											
<b>Escenario</b>	<b>2000</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>	<b>Variación respecto al año 2000</b>				
							<i>(Porcentaje)</i>				
							<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>
Base	2 007,6	2 735,4	3 128,9	3 731,1	4 008,6	3 803,1	36	56	86	100	89
B2	1 998,0	2 806,8	3 291,0	4 030,7	4 493,5	4 284,5	40	65	102	125	114
A2	1 995,6	2 851,6	3 224,3	3 997,6	4 593,5	4 834,7	43	62	100	130	142
<b>Demanda agrícola</b>											
<b>Escenario</b>	<b>2000</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>	<b>Variación respecto al año 2000</b>				
							<i>(Porcentaje)</i>				
							<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>
Base	8 378,0	14 109,0	18 883,2	34 524,8	63 670,4	158 871,1	68	125	312	660	1 796
B2	8 359,7	17 216,2	22 911,6	42 644,4	79 104,1	200 568,8	106	174	410	846	2 299
A2	8 378,0	17 120,7	22 761,0	42 436,8	78 727,9	208 100,9	104	172	407	840	2 384
<b>Demanda industrial</b>											
<b>Escenario</b>	<b>2000</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>	<b>Variación respecto al año 2000</b>				
							<i>(Porcentaje)</i>				
							<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>
Base	1 932,6	3 895,9	5 441,0	10 369,9	19 664,4	50 270,4	102	182	437	918	2 501

Nota: Los cálculos se hicieron con el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4 para el escenario B2 y con el promedio de los modelos HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para el escenario A2. La información del año 2000 fue estimada con la simulación de las variables climáticas de cada escenario.

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 4.11**  
**CENTROAMÉRICA: PARTICIPACIÓN DE LA DEMANDA TOTAL DE AGUA POR PAÍS PARA**  
**LOS ESCENARIOS BASE Y CON CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIOS B2 Y A2), 2000 A 2100.**

*(Como porcentaje del total de Centroamérica)*

<b>Belice</b>						<b>Costa Rica</b>					
<b>Escenario</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>	<b>Escenario</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>
Base	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	Base	23,0	23,0	23,0	23,0	22,0
B2	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3	B2	22,0	22,5	22,3	21,8	21,1
A2	0,7	0,7	0,5	0,4	0,3	A2	22,3	22,5	22,3	21,9	20,8
<b>El Salvador</b>						<b>Guatemala</b>					
<b>Escenario</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>	<b>Escenario</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>
Base	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	Base	45,0	45,0	45,0	44,0	43,0
B2	7,0	6,2	4,8	3,8	2,9	B2	45,0	45,9	45,8	45,5	43,5
A2	7,3	6,2	4,8	3,8	3,0	A2	45,6	46,0	45,6	45,3	43,1
<b>Honduras</b>						<b>Nicaragua</b>					
<b>Escenario</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>	<b>Escenario</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>
Base	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	Base	9,0	9,0	10,0	11,0	13,0
B2	9,0	8,7	8,8	8,8	8,9	B2	9,0	9,4	10,6	11,6	13,9
A2	8,6	8,6	8,8	8,7	9,1	A2	9,3	9,4	10,7	11,7	14,5
<b>Panamá</b>											
<b>Escenario</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>						
Base	7,0	7,0	8,0	9,0	10,0						
B2	6,0	6,6	7,4	8,2	9,5						
A2	6,3	6,6	7,4	8,3	9,3						

Fuente: Elaboración propia.

## DEMANDA POR PAÍSES

En las secciones siguientes se presenta el análisis de la demanda futura por usos de agua municipal, industrial y agrícola en cada país. Este análisis depende de los datos empleados y de las suposiciones asumidas sobre crecimiento poblacional y económico y sobre la demanda de los sectores, sin considerar cambios tecnológicos y de eficiencia.

Tanto en los siguientes análisis de la demanda por países, como para el análisis regional, es importante considerar que cada escenario tiene su propia simulación, por lo que la comparación debe hacerse con la variación porcentual, que equivale al cambio en la demanda respecto a su simulación del año 2000. Por ejemplo, en algunos países y sectores la demanda en valores absolutos resulta mayor en el escenario B2, pero eso no significa que haya aumentado más, solo que el valor inicial es distinto debido a la simulación histórica de este modelo. Así que la variación porcentual es la mejor herramienta para el análisis.

### BELICE

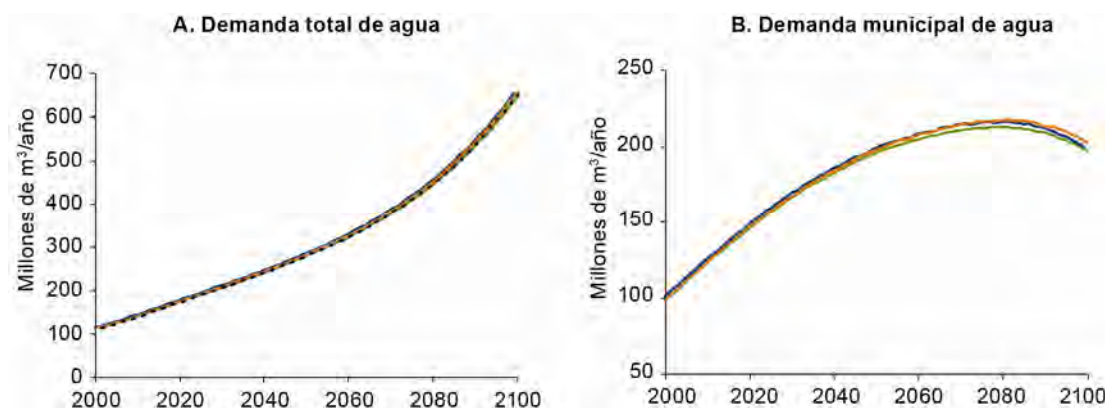
En Belice la demanda total de agua en el escenario sin cambio climático aumenta aproximadamente 140% al 2050 y 460% al 2100 respecto al año 2000. A 2100 la demanda total proyectada es de 649 millones de m<sup>3</sup> y la distribución del consumo es 30% municipal y 70% industrial.

Para el año 2050 el consumo habrá crecido aproximadamente 145% en los escenarios B2 y A2. Magnitudes similares arrojan los estimados para el año 2100: el consumo crece 468% en B2 (652 millones de m<sup>3</sup>) y 469% en A2 (655 millones de m<sup>3</sup>). Tanto en B2 como en A2, este consumo es apenas 1% superior al valor del escenario base al 2100.

La demanda del sector municipal aumenta de aproximadamente 101 millones de m<sup>3</sup> en 2000 a 197 millones de m<sup>3</sup> en el escenario base, y 200 y 203 millones de m<sup>3</sup> en B2 y A2, respectivamente, al año 2100. Al 2100 en A2, la distribución de consumo podría ser 31% municipal y 69% industrial.

Con los supuestos y los datos utilizados no se detecta mayor diferencia de demanda en los tres escenarios en el caso de Belice. No obstante, se recomienda una revisión cuando se tengan mejores datos de consumo, especialmente del sector agrícola (véanse el gráfico 4.6 y el cuadro 4.12).

**GRÁFICO 4.6**  
**BELICE: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA CON ESCENARIOS BASE, B2 Y A2, 2000-2100**  
(En millones de metros cúbicos al año)



(Continúa)

(Continuación Gráfico 4.6)



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 4.12**  
**BELICE: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA TOTAL, MUNICIPAL E INDUSTRIAL**  
**CON ESCENARIO BASE, B2 Y A2, 2000 A 2100**

(En millones de metros cúbicos al año y porcentajes de variación respecto a 2000)

Demanda total											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	115,9	174,4	207,4	279,5	377,0	648,7	50	79	141	225	460
B2	114,8	174,9	208,6	281,5	381,8	652,2	52	82	145	233	468
A2	115,1	175,2	208,2	281,1	381,7	654,8	52	81	144	232	469
Demanda municipal											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	101,2	146,3	166,5	196,3	211,0	196,8	45	65	94	109	94
B2	101,1	146,8	167,6	198,3	214,6	200,3	45	66	96	112	98
A2	101,3	147,0	167,2	197,9	214,5	202,9	45	65	95	112	100
Demanda industrial											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	13,8	28,1	40,9	83,2	166,1	451,9	104	197	504	1105	3180

Nota: Los cálculos se hicieron con el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4 para el escenario B2 y con el promedio de los modelos HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para el escenario A2. La información del año 2000 fue estimada con la simulación de las variables climáticas de cada escenario.

Fuente: Elaboración propia.



## COSTA RICA

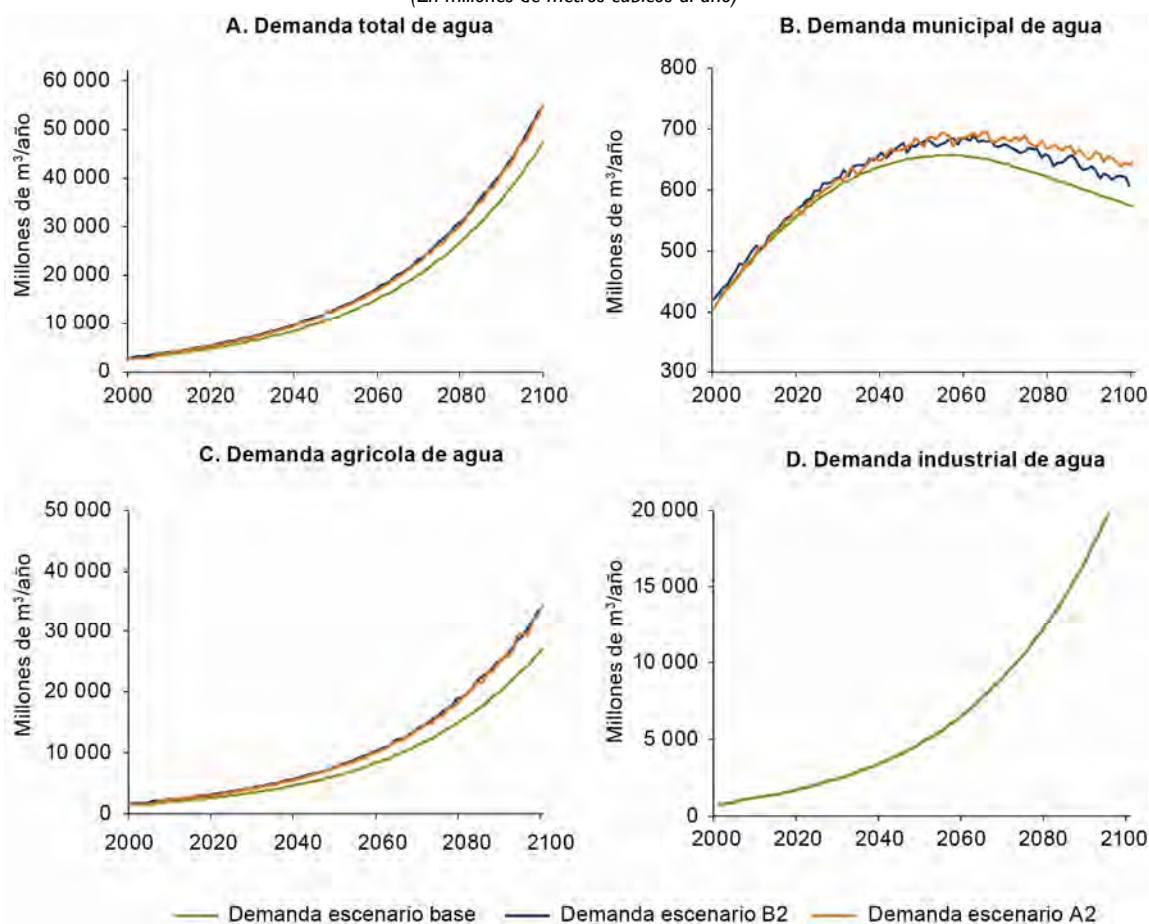
Para Costa Rica la demanda total de agua en el escenario sin cambio climático a partir del año 2000 crece 335% al 2050 y 1.715% al 2100 para dar un total de 47.275 millones de m<sup>3</sup>. Al final del siglo, la distribución del consumo es 1% municipal, 57% agrícola y 42% industrial en este escenario base.

Con los escenarios B2 y A2, el consumo total aumenta más de 385% al 2050 y aproximadamente 2.000% al 2100. Entonces, con B2 este consumo es 14% superior al valor del escenario base al 2100, y con A2 el valor es 16%.

La demanda del sector agrícola es la mayor en términos absolutos y aumenta de aproximadamente 1.455 millones de m<sup>3</sup> en 2000 a 26.970 millones de m<sup>3</sup> en el escenario base a 2100, y 33.422 y 34.373 millones de m<sup>3</sup> con B2 y A2, respectivamente. Así, con B2 esta demanda es 26% superior a la del escenario base en 2100 y 31% superior en A2. Al final del siglo con A2, la distribución del consumo podría ser 1% municipal, 63% agrícola y 36% industrial.

En resumen, este análisis detecta una mayor demanda municipal y agrícola con cambio climático (véanse el gráfico 4.7 y el cuadro 4.13).

**GRÁFICO 4.7**  
**COSTA RICA: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA CON ESCENARIOS BASE, B2 Y A2, 2000-2100**  
(En millones de metros cúbicos al año)



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 4.13**  
**COSTA RICA: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA TOTAL, MUNICIPAL, AGRÍCOLA**  
**E INDUSTRIAL CON ESCENARIO BASE, B2 Y A2, 2000 A 2100**

*(En millones de metros cúbicos al año y porcentajes de variación respecto a 2000)*

<b>Demanda total</b>											
<b>Escenario</b>	<b>2000</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>	<b>Variación respecto al año 2000</b> (Porcentaje)				
							<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>
Base	2 604,6	4 802,9	6 416,5	11 334,6	20 109,3	47 275,0	84	146	335	672	1 715
B2	2 607,6	5 338,2	7 112,8	12 688,8	22 442,9	53 760,9	105	173	387	761	1 962
A2	2 604,3	5 314,1	7 075,9	12 649,2	22 555,7	54 751,4	104	172	386	766	2 002

<b>Demanda municipal</b>											
<b>Escenario</b>	<b>2000</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>	<b>Variación respecto al año 2000</b> (Porcentaje)				
							<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>
Base	421,7	559,5	608,5	655,1	642,2	573,0	33	44	55	52	36
B2	421,3	565,4	619,0	677,9	674,4	606,7	34	47	61	60	44
A2	418,0	568,8	616,2	670,9	681,0	646,5	36	47	61	63	55

<b>Demanda agrícola</b>											
<b>Escenario</b>	<b>2000</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>	<b>Variación respecto al año 2000</b> (Porcentaje)				
							<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>
Base	1 455,4	2 561,2	3 443,1	6 245,7	11 301,3	26 969,8	76	137	329	677	1 753
B2	1 465,7	3 087,2	4 121,7	7 577,1	13 602,7	33 422,1	111	181	417	828	2 180
A2	1 455,4	3 059,8	4 087,7	7 544,5	13 708,9	34 372,8	110	181	418	842	2 262

<b>Demanda industrial</b>											
<b>Escenario</b>	<b>2000</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>	<b>Variación respecto al año 2000</b> (Porcentaje)				
							<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>2100</b>
Base,	735,8	1 682,2	2 365,0	4 433,8	8 165,8	19 732,1	129	221	503	1 010	2 582

Nota: Los cálculos se hicieron con el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4 para el escenario B2 y con el promedio de los modelos HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para el escenario A2. La información del año 2000 fue estimada con la simulación de las variables climáticas de cada escenario.

Fuente: Elaboración propia.

## EL SALVADOR

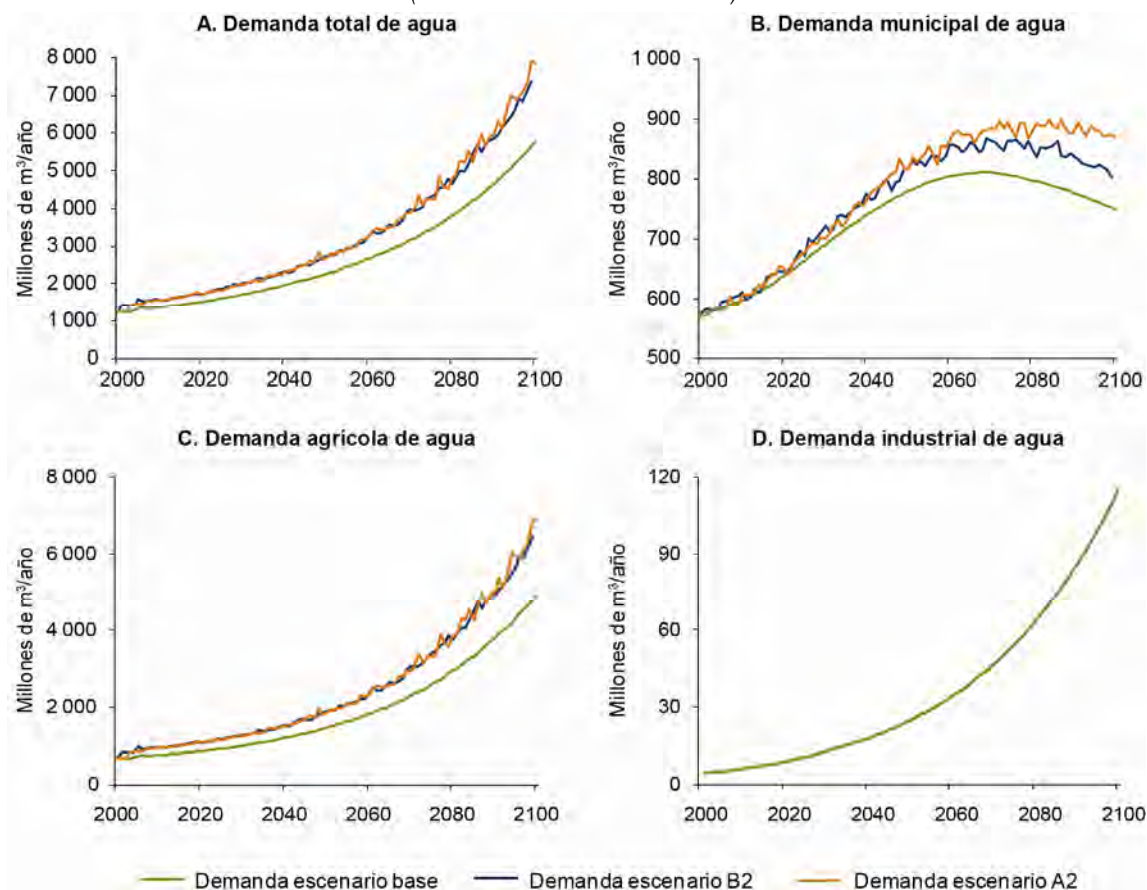
Para El Salvador la demanda total de agua en el escenario base sin cambio climático partiendo del 2000 crece 83% al 2050 y 365% al 2100 para dar un total de 5.774 millones de m<sup>3</sup>. Al final del siglo, la distribución del consumo es 13% municipal, 85% agrícola y 2% industrial en este escenario base.

Con los escenarios B2 y A2, el consumo total aumenta 118% al 2050. Para el año 2100 el consumo crece 493% en B2 (hasta 7.373 millones de m<sup>3</sup>) y 530% en A2 (hasta 7.831 millones de m<sup>3</sup>). Entonces, con B2 este consumo es 28% superior al del escenario base a 2100, y con A2 el valor es 36%.

La demanda del sector agrícola es la mayor en términos absolutos y aumenta de aproximadamente 663 millones de m<sup>3</sup> en 2000 a 4.910 millones de m<sup>3</sup> en el escenario base al 2100, y 6.454 y 6.846 millones de m<sup>3</sup> con B2 y A2, respectivamente. Al final del siglo con A2, la distribución del consumo podría ser 11% municipal, 87% agrícola y 1% industrial (véase el gráfico 4.8).

Se detecta un aumento significativo de la demanda municipal y agrícola debido al cambio climático, lo cual es claramente mayor en el escenario A2 (véase el cuadro 4.14).

**GRÁFICO 4.8**  
**EL SALVADOR: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA CON ESCENARIOS BASE, B2 Y A2, 2000-2100**  
 (En millones de metros cúbicos al año)



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 4.14**  
**EL SALVADOR: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA TOTAL, MUNICIPAL, AGRÍCOLA E INDUSTRIAL CON ESCENARIO BASE, B2 Y A2, 2000 A 2100**  
 (En millones de metros cúbicos al año y porcentajes de variación respecto a 2000)

Escenario	Demanda total						Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
	2000	2020	2030	2050	2070	2100					
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	1 240,9	1 514,8	1 713,9	2 270,8	3 154,9	5 773,6	22	38	83	154	365
B2	1 243,6	1 737,5	1 966,7	2 713,3	3 892,6	7 373,2	40	58	118	213	493
A2	1 242,9	1 737,3	1 955,1	2 706,9	3 872,9	7 831,5	40	57	118	212	530

(Continúa)

(Continuación Cuadro 4.14)

Demanda municipal											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	575,6	637,5	690,8	779,9	810,3	749,1	11	20	35	41	30
B2	572,6	647,0	711,8	816,5	867,9	803,6	13	24	43	52	40
A2	572,0	651,2	700,4	814,8	883,2	869,9	14	22	42	54	52

Demanda agrícola											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	663,0	868,6	1 010,5	1 466,3	2 298,2	4 909,5	31	52	121	247	641
B2	666,4	1 081,8	1 242,2	1 872,1	2 978,3	6 453,6	62	86	181	347	868
A2	663,0	1 077,4	1 242,0	1 867,3	2 943,3	6 845,6	63	87	182	344	933

Demanda industrial											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	4,4	8,7	12,6	24,6	46,4	114,9	96	184	453	944	2 485

Nota: Los cálculos se hicieron con el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4 para el escenario B2 y con el promedio de los modelos HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para el escenario A2. La información del año 2000 fue estimada con la simulación de las variables climáticas de cada escenario.

Fuente: Elaboración propia.

## GUATEMALA

Para Guatemala la demanda total de agua en el escenario sin cambio climático partiendo del 2000 crece 324% al 2050 y 1.667% al 2100 para un total de 90.843 millones de m<sup>3</sup>. Al final del siglo, la distribución del consumo es 2% municipal, 88% agrícola y 10% industrial en este escenario base.

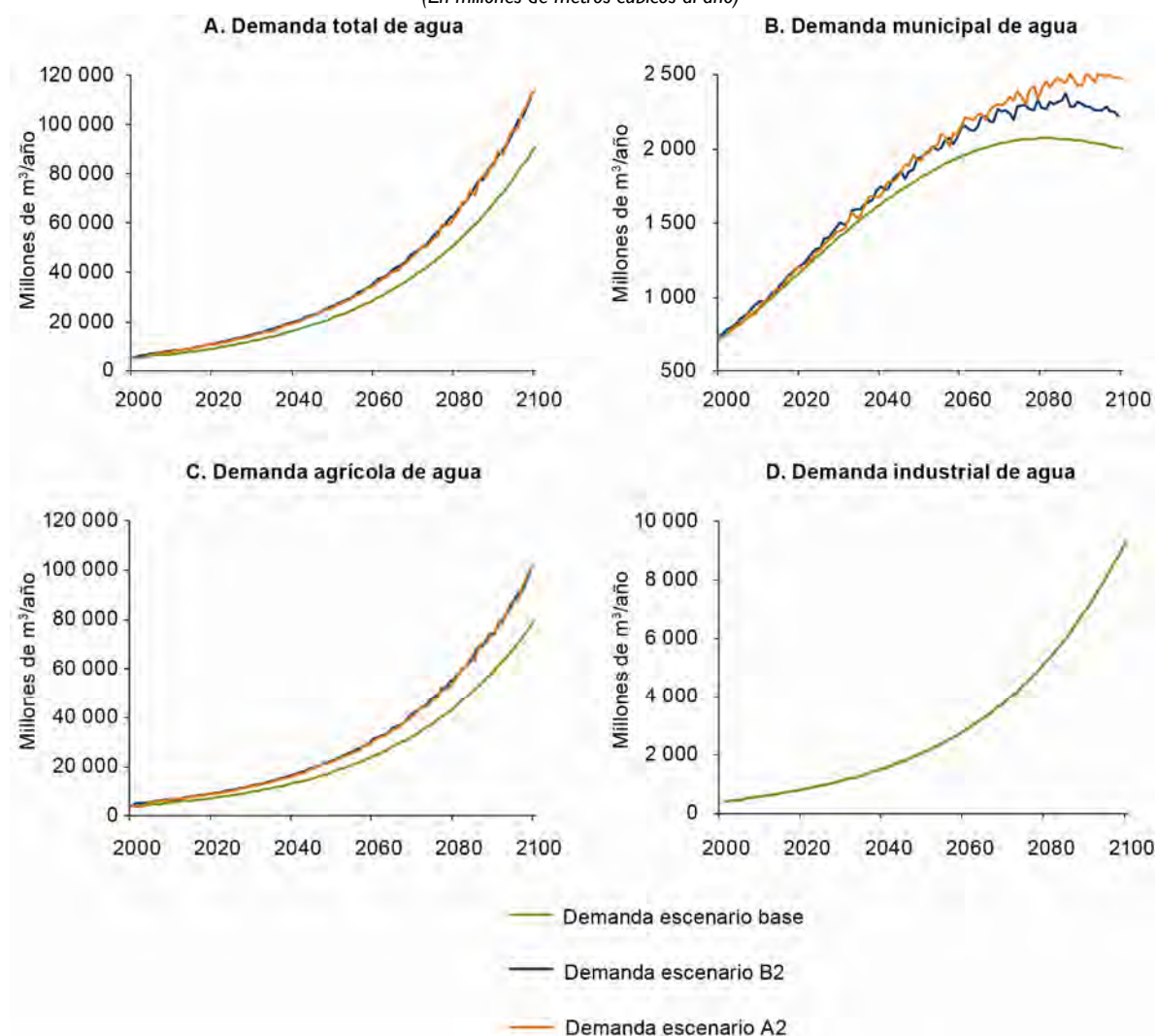
A 2050, el consumo total aumenta alrededor de 410% en ambos escenarios climáticos. Para el año 2100 el consumo crece 2.070% en B2 (hasta 110.987 millones de m<sup>3</sup>) y 2.119% en A2 (hasta 113.585 millones de m<sup>3</sup>). Entonces, con B2 este consumo es 22% superior al del escenario base al 2100, y con A2 el valor es 25%.

La demanda del sector agrícola predomina en términos absolutos y aumenta de aproximadamente 4.010 millones de m<sup>3</sup> en 2000 a 79.488 millones de m<sup>3</sup> en el escenario base al 2100, y 99.414 y 101.755 millones de m<sup>3</sup> con B2 y A2, respectivamente. Así, en el escenario B2 implicaría una demanda 25% superior a la del escenario base; con A2 la cifra sería 28%. Al final del siglo con A2, la distribución del consumo podría ser 2% municipal, 90% agrícola y 8% industrial (véase el gráfico 4.9).

Guatemala enfrentaría un alto aumento de la demanda de agua aun sin cambio climático. Con cambio climático la demanda aumentaría entre una quinta y cuarta parte más, sin tomar en cuenta el sector industrial (véase el cuadro 4.15).

**GRÁFICO 4.9**  
**GUATEMALA: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA CON ESCENARIOS**  
**BASE, B2 Y A2, 2000-2100**

(En millones de metros cúbicos al año)



Fuente: Elaboración propia.



**CUADRO 4.15**  
**GUATEMALA: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA TOTAL, MUNICIPAL, AGRÍCOLA**  
**E INDUSTRIAL CON ESCENARIO BASE, B2 Y A2, 2000 A 2100**

*(En millones de metros cúbicos al año y porcentajes de variación respecto a 2000)*

Demanda total											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000				
							(Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	5 140,6	9 259,9	12 344,8	21 820,0	38 594,7	90 843,2	80	140	324	651	1 667
B2	5 114,8	10 878,0	14 535,3	26 121,7	46 976,7	110 986,6	113	184	411	818	2 070
A2	5 118,3	10 893,0	14 467,3	25 923,4	46 723,7	113 584,6	113	183	406	813	2 119
Demanda municipal											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000				
							(Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	746,5	1 169,9	1 412,8	1 809,6	2 039,5	1 999,7	57	89	142	173	168
B2	738,2	1 194,3	1 475,7	1 936,7	2 264,8	2 217,3	62	100	162	207	200
A2	741,6	1 208,7	1 444,5	1 918,9	2 293,7	2 473,9	63	95	159	209	234
Demanda agrícola											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000				
							(Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	4 010,3	7 270,2	9 801,1	17 921,1	32 719,4	79 488,0	81	144	347	716	1 882
B2	3 953,9	8 862,2	11 925,3	22 095,7	40 876,1	99 413,8	124	202	459	934	2 414
A2	4 010,3	8 862,9	11 888,5	21 915,2	40 594,2	101 755,2	121	196	446	912	2 437
Demanda industrial											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000				
							(Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	402,9	819,8	1 130,9	2 089,3	3 835,8	9 355,5	103	181	419	852	2 222

Nota: Los cálculos se hicieron con el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4 para el escenario B2 y con el promedio de los modelos HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para el escenario A2. La información del año 2000 fue estimada con la simulación de las variables climáticas de cada escenario.

Fuente: Elaboración propia.

## HONDURAS

Para Honduras la demanda total de agua en el escenario base sin cambio climático partiendo del 2000 crece 332% al 2050 y 1.785% al 2100 para un total de 17.639 millones de m<sup>3</sup>. Al final del siglo, la distribución del consumo es 1% municipal, 87% agrícola y 12% industrial en este escenario base.

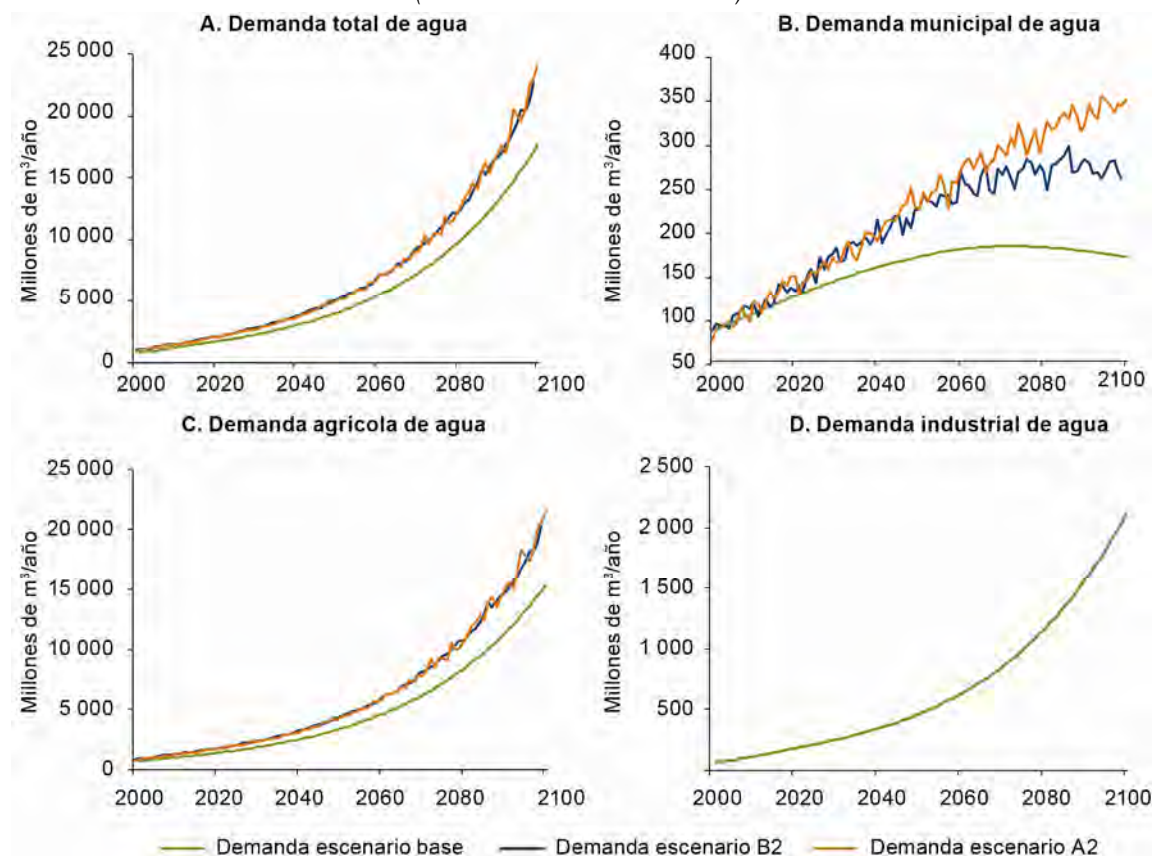
Con ambos escenarios climáticos, el consumo total aumenta casi 400% a 2050. Para el año 2100, el consumo crece 2.133% en B2 (hasta 22.673 millones de m<sup>3</sup>) y 2.275% en A2 (hasta 24.003 millones de m<sup>3</sup>). Así, con B2 este consumo es 29% superior al del escenario base a 2100, y con A2 el valor es 36%.

La demanda del sector agrícola es la mayor en términos absolutos y aumenta de aproximadamente 778 millones de m<sup>3</sup> en 2000 a 15.350 millones de m<sup>3</sup> en el escenario base a 2100, y 20.291 y 21.531 millones de m<sup>3</sup> con B2 y A2, respectivamente. Así, con el escenario B2 el país podría enfrentar una demanda 32% superior a la del escenario base y con A2 la cifra sería 40%.

Al final del siglo con A2, la distribución del consumo podría ser 1% municipal, 90% agrícola y 9% industrial (véase el gráfico 4.10).

Honduras enfrentaría un alto aumento de la demanda del agua aun sin cambio climático. Con cambio climático aumentaría alrededor de una tercera parte y posiblemente aun más en el sector agrícola en el escenario A2 (véase el cuadro 4.16).

**GRÁFICO 4.10**  
**HONDURAS: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA CON ESCENARIOS BASE, B2 Y A2, 2000-2100**  
 (En millones de metros cúbicos al año)



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 4.16**  
**HONDURAS: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA TOTAL, MUNICIPAL, AGRÍCOLA E INDUSTRIAL**  
**CON ESCENARIO BASE, B2 Y A2, 2000 A 2100**  
 (En millones de metros cúbicos al año y porcentajes de variación respecto a 2000)

Demanda total							Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	935,6	1 709,9	2 281,1	4 037,9	7 234,7	17 639,3	83	144	332	673	1 785
B2	1 015,2	2 065,5	2 753,6	5 007,6	9 094,6	22 672,8	103	171	393	796	2 133
A2	1 010,5	2 050,6	2 703,4	5 017,8	8 925,1	24 003,1	103	168	397	783	2 275
Demanda municipal							Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	87,3	124,6	142,9	170,1	182,0	170,0	43	64	95	108	95
B2	88,2	137,9	177,1	226,5	273,4	262,4	56	101	157	210	197
A2	90,3	151,9	166,7	227,7	293,8	352,2	68	85	152	225	290
Demanda agrícola							Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	2020	2030	2050	2070	2100
Base	778,2	1 404,8	1 888,5	3 407,1	6 203,5	15 349,5	81	143	338	697	1 872
B2	856,4	1 746,8	2 326,1	4 320,4	7 972,0	20 290,6	104	172	405	831	2 269
A2	778,2	1 717,9	2 286,3	4 329,4	7 782,1	21 531,1	121	194	456	900	2 667

(Continúa)

(Continuación Cuadro 4.16)

Escenario	Demanda industrial						Variación respecto al año 2000				
	2000	2020	2030	2050	2070	2100	(Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	71,9	180,4	249,7	460,7	849,2	2 119,8	151	248	541	1 082	2 850

Nota: Los cálculos se hicieron con el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4 para el escenario B2 y con el promedio de los modelos HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para el escenario A2. La información del año 2000 fue estimada con la simulación de las variables climáticas de cada escenario.

Fuente: Elaboración propia.

## NICARAGUA

Para Nicaragua la demanda total de agua en el escenario sin cambio climático partiendo del 2000 crece 249% al 2050 y 1.893% al 2100 para un total de 28.530 millones de m<sup>3</sup>. Al final del siglo, la distribución de consumo es 0,2% municipal, 86% agrícola y 14% industrial en este escenario base.

Con ambos escenarios climáticos, el consumo total aumenta más de 350% al 2050. Para el año 2100 el consumo crece 2.551% en B2 (hasta 35.417 millones de m<sup>3</sup>) y 2.758% en A2 (hasta 38.107 millones de m<sup>3</sup>). Así, con B2 este consumo es 24% superior al del escenario base a 2100, y con A2 el valor es 34%.

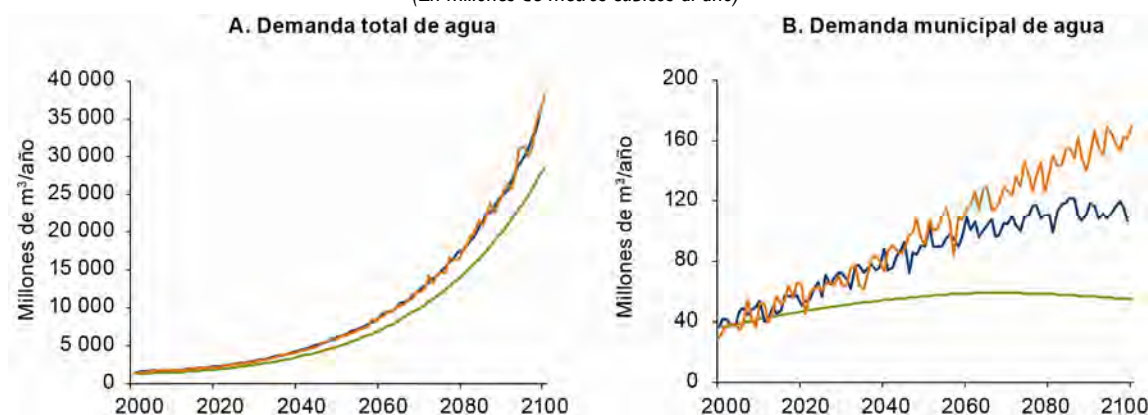
La demanda del sector agrícola es mayor que la del resto en términos absolutos: aumenta de aproximadamente 1.209 millones de m<sup>3</sup> en 2000 a 24.457 millones de m<sup>3</sup> en el escenario base al año 2100, y 31.292 y 33.919 millones de m<sup>3</sup> con B2 y A2, respectivamente. Así, en el escenario B2 implicaría una demanda 28% superior a la del escenario base y con A2 la cifra sería 39%.

Al final del siglo con A2, la distribución del consumo podría ser 0,4% municipal, 89% agrícola y 11% industrial.

Nicaragua enfrentaría un alto aumento de la demanda de agua aun sin cambio climático. Con cambio climático la demanda aumentaría entre una cuarta y una tercera parte, posiblemente más en el sector agrícola con A2 (véanse el gráfico 4.11 y el cuadro 4.17).

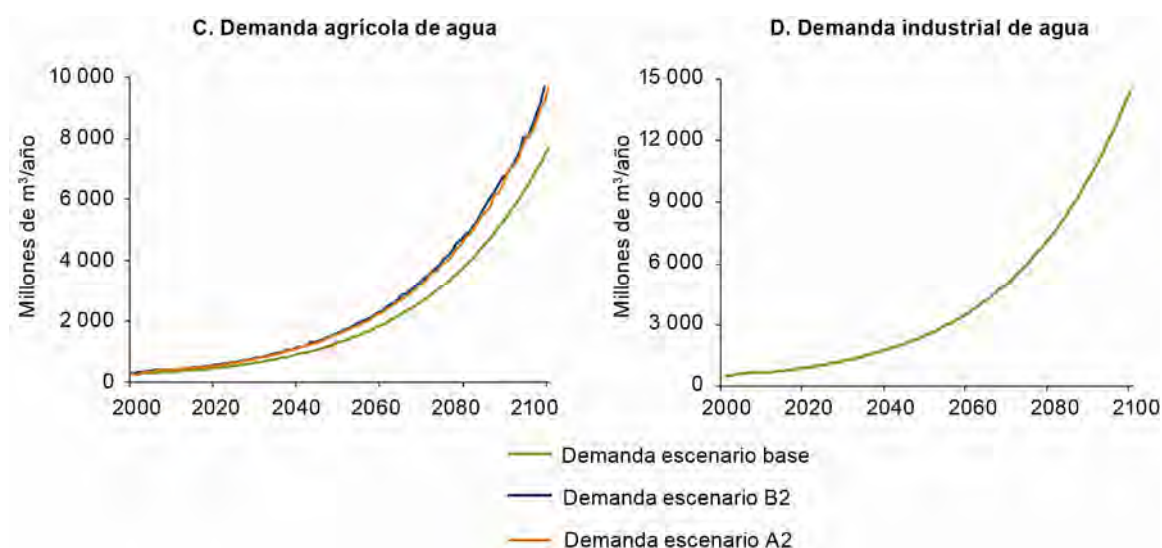
**GRÁFICO 4.11**  
**NICARAGUA: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA CON ESCENARIOS BASE, B2 Y A2, 2000-2100**

(En millones de metros cúbicos al año)



(Continúa)

(Continuación Gráfico 4.11)



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 4.17**  
**NICARAGUA: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA TOTAL, MUNICIPAL, AGRÍCOLA**  
**E INDUSTRIAL CON ESCENARIO BASE, B2 Y A2, 2000 A 2100**  
 (En millones de metros cúbicos al año y porcentajes de variación respecto a 2000)

Demanda total											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	1 431,2	1 884,2	2 543,6	4 999,7	10 029,4	28 530,1	32	78	249	601	1 893
B2	1 335,8	2 232,5	2 991,5	6 024,7	12 043,9	35 417,4	67	124	351	802	2 551
A2	1 333,5	2 211,2	2 948,2	6 056,4	12 063,0	38 107,3	66	121	354	805	2 758
Demanda municipal											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	37,0	46,6	50,9	56,8	58,9	54,6	26	38	53	59	48
B2	36,7	57,2	72,0	90,5	105,3	106,3	56	96	147	187	190
A2	34,3	64,5	64,0	90,7	126,5	169,7	88	87	164	269	395
Demanda agrícola											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	1 209,2	1 554,7	2 102,0	4 174,6	8 460,3	24 456,5	29	74	245	600	1 923
B2	1 108,0	1 891,9	2 527,7	5 165,9	10 418,0	31 292,1	71	128	366	840	2 724
A2	1 209,2	1 863,3	2 492,4	5 197,4	10 415,8	33 918,6	54	106	330	761	2 705
Demanda industrial											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	185,6	282,8	390,7	768,3	1 510,1	4 019,0	52	110	314	714	2 066

Nota: Los cálculos se hicieron con el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4 para el escenario B2 y con el promedio de los modelos HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para el escenario A2. La información del año 2000 fue estimada con la simulación de las variables climáticas de cada escenario.

Fuente: Elaboración propia.

## PANAMÁ

Para Panamá la demanda total de agua en el escenario sin cambio climático partiendo del 2000 crece 375% al 2050 y 2.619% al 2100 para un total de 22.235 millones de m<sup>3</sup>. Al final del siglo, la distribución de consumo es 0,3% municipal, 35% agrícola y 65% industrial en este escenario base.

En el escenario B2 el consumo total aumenta 381% y en A2 aumenta 410% al 2050. Para el año 2100 el consumo crece 2.674% en B2 (hasta 24.262 millones de m<sup>3</sup>) y 2.868% en A2 (hasta 24.274 millones de m<sup>3</sup>). Así, tanto con B2 como con A2, el consumo total es 9% superior al del escenario base al 2100, considerando los estimados de aumentos en los sectores agrícola y municipal debidos al cambio climático.

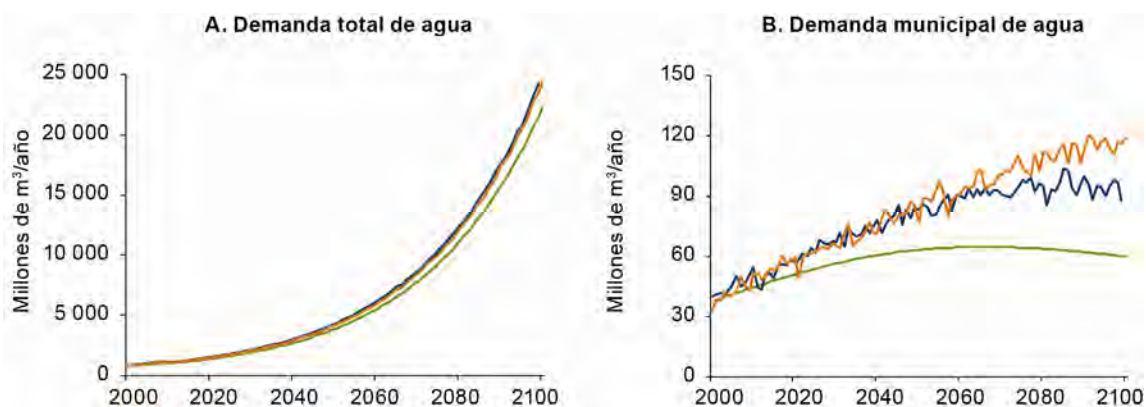
El sector industrial es el mayor demandante; en términos absolutos esta demanda podría aumentar casi 2.700%, de aproximadamente 518 millones de m<sup>3</sup> en 2000 a 14.477 millones de m<sup>3</sup> en el escenario base al 2100. Al final del siglo con A2, la distribución del consumo podría ser 0,5% municipal, 40% agrícola y 60% industrial, considerando que no se estimó un aumento por cambio climático para este último sector.

La demanda del sector agrícola aumentaría 2.840% en el escenario base, mientras que con cambio climático, escenario B2, aumentaría 3.035% y en el escenario A2 aumentaría 3.595% respecto a la demanda del año 2000<sup>3</sup>.

Para el caso de Panamá se recomienda un análisis adicional de los posibles impactos en las industrias más representativas. Aunque el uso de agua dulce por el Canal de Panamá no es considerado consuntivo, el impacto del cambio climático sobre las cuencas que alimentan su operación merece ser investigado (véanse el gráfico 4.12 y el cuadro 4.18).

**GRÁFICO 4.12**  
**PANAMÁ: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA CON ESCENARIOS BASE, B2 Y A2,**  
**2000-2100**

(En millones de metros cúbicos al año)

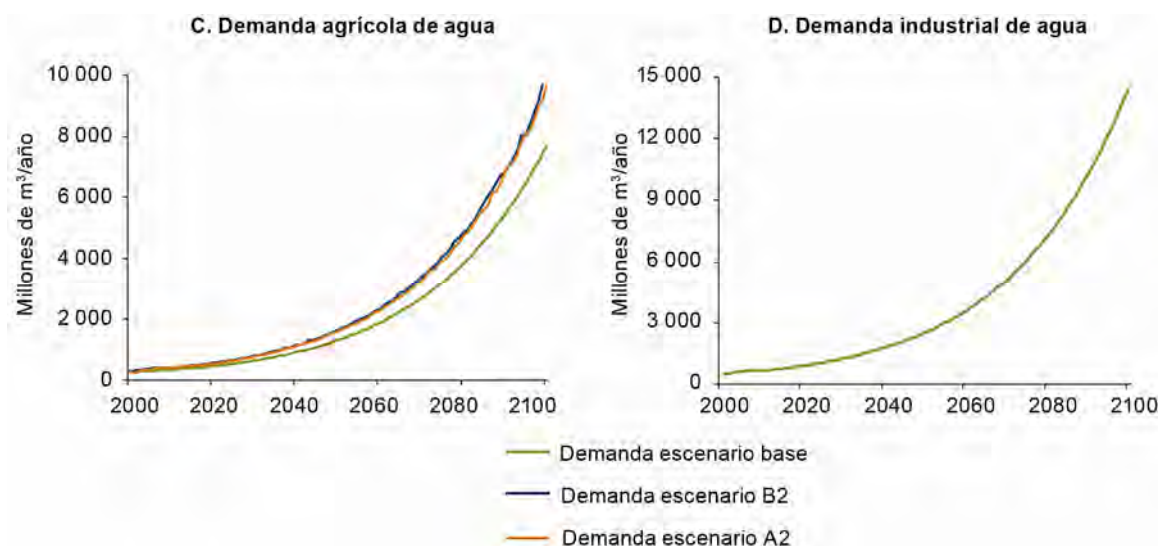


(Continúa)

<sup>3</sup> La demanda en el escenario B2 es mayor que en el escenario A2 desde el inicio del modelaje debido a la simulación histórica hecha para cada escenario. La diferencia entre los escenarios se evidencia con los porcentajes de cambio y no con los valores absolutos.



(Continuación Gráfico 4.12)



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 4.18**  
**PANAMÁ: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA TOTAL, MUNICIPAL, AGRÍCOLA E INDUSTRIAL**  
**CON ESCENARIO BASE, B2 Y A2, 2000 A 2100**

(En millones de metros cúbicos al año y porcentajes de variación respecto a 2000)

Demanda total											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	817,7	1 394,4	1 945,7	3 883,2	7 843,4	22 234,9	71	138	375	859	2 619
B2	874,6	1 500,2	2 091,3	4 207,5	8 476,7	24 261,7	72	139	381	869	2 674
A2	817,8	1 494,6	2 084,3	4 169,7	8 511,0	24 274,4	83	155	410	941	2 868
Demanda municipal											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	38,3	51,0	56,5	63,3	64,7	59,9	33	47	65	69	56
B2	39,9	58,2	67,8	84,3	93,1	87,9	46	70	111	133	120
A2	38,1	59,5	65,3	76,7	100,8	119,6	56	72	102	165	214
Demanda agrícola											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	261,9	449,5	638,0	1 310,0	2 687,7	7 697,8	72	144	400	926	2 840
B2	309,3	546,3	768,6	1 613,2	3 257,0	9 696,6	77	148	422	953	3 035
A2	261,9	539,4	764,1	1 583,0	3 283,6	9 677,6	106	192	504	1 154	3 595
Demanda industrial											
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100	Variación respecto al año 2000 (Porcentaje)				
							2020	2030	2050	2070	2100
Base	518,2	893,9	1 251,2	2 510,0	5 091,0	14 477,2	73	141	384	883	2 694

Nota: Los cálculos se hicieron con el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R3.0 y ECHAM4 para el escenario B2 y con el promedio de los modelos HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para el escenario A2. La información del año 2000 fue estimada con la simulación de las variables climáticas de cada escenario.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.7 ESCENARIOS DE LA INTENSIDAD DE USO DEL AGUA A 2100

La literatura internacional establece que una intensidad de uso superior al 20% del total de agua renovable disponible coloca a un país en situación crítica (WRI, 2009). Como se ha mencionado, el país centroamericano con la mayor intensidad en la actualidad es El Salvador con 12%.

Con las estimaciones de disponibilidad renovable total y de la demanda total de agua se calculó el índice de intensidad de uso del agua para los escenarios base, B2 y A2 al 2100. El cuadro 4.19 presenta el índice de intensidad de uso del agua en los años de corte y los gráficos 4.13 y 4.14 el resultado del índice para cada año del 2000 al 2100.

A nivel de la región, la intensidad sube de aproximadamente 3,5% en 2000 a 9% en 2050 y 36% en 2100 con el escenario base (véase el cuadro 4.19). El rango entre los países va de 4% en Belice a 54% y 59% en El Salvador y Guatemala. Con cambio climático, este indicador llega a aproximadamente 20% en 2050 en ambos escenarios. Para 2100 el estimado para B2 llega a 140% y para el A2 casi a 375%. Este índice se refiere al agua renovable disponible, es decir, la cantidad de agua que escurre o se almacena en cuerpos superficiales o acuíferos y que puede ser fácilmente utilizada, entonces no incluye agua que se podrá recibir de ríos transfronterizos o por desalinización de agua del mar. Para algunos países de Centroamérica la disponibilidad real de agua se debe no sólo a la precipitación que reciben, sino a la que ingresa o sale por cuencas transfronterizas. Un índice superior al 100% indica el volumen de agua necesario para satisfacer la demanda adicional a la disponible por precipitación menos evapotranspiración (método Turc).

**CUADRO 4.19**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE INTENSIDAD DE USO DEL AGUA**  
**CON ESCENARIOS BASE, B2 Y A2, 2000 A 2100**  
(En porcentaje)

Belice						
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100
Base	0,63	0,95	1,13	1,52	2,06	3,54
B2	0,64	1,32	1,07	3,51	7,51	12,43
A2	0,66	0,73	0,56	2,45	2,67	26,74
Costa Rica						
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100
Base	3,57	6,59	8,81	15,56	27,60	64,88
B2	5,20	10,76	10,49	29,18	36,52	216,87
A2	4,52	7,16	7,00	26,03	47,35	369,83
El Salvador						
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100
Base	11,71	14,29	16,17	21,43	29,77	54,48
B2	11,77	20,43	15,21	52,63	98,77	253,88
A2	11,64	17,88	15,99	49,80	71,96	828,83
Guatemala						
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100
Base	3,32	5,98	7,97	14,09	24,92	58,65
B2	3,35	8,14	9,39	26,55	66,55	162,76
A2	3,29	7,90	8,62	19,94	52,57	251,03
Honduras						
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100
Base	1,13	2,07	2,76	4,88	8,74	21,31
B2	1,39	3,25	3,03	11,89	27,70	126,04
A2	1,31	1,77	1,58	12,50	14,45	402,51

(Continúa)

(Continuación Cuadro 4.19)

Nicaragua						
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100
Base	1,12	1,47	1,99	3,91	7,84	22,29
B2	1,39	2,40	1,99	9,69	16,17	120,46
A2	1,47	1,29	1,02	11,44	14,97	653,67
Panamá						
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100
Base	0,87	1,48	2,06	4,12	8,32	23,59
B2	1,56	2,51	2,47	9,73	11,24	96,54
A2	0,87	1,54	1,98	5,54	14,15	77,81
Centroamérica						
Escenario	2000	2020	2030	2050	2070	2100
Base	3,19	4,69	5,84	9,36	15,61	35,53
B2	3,61	6,97	6,23	20,45	37,78	141,28
A2	3,40	5,47	5,25	18,24	31,16	372,92

Fuente: Elaboración propia.

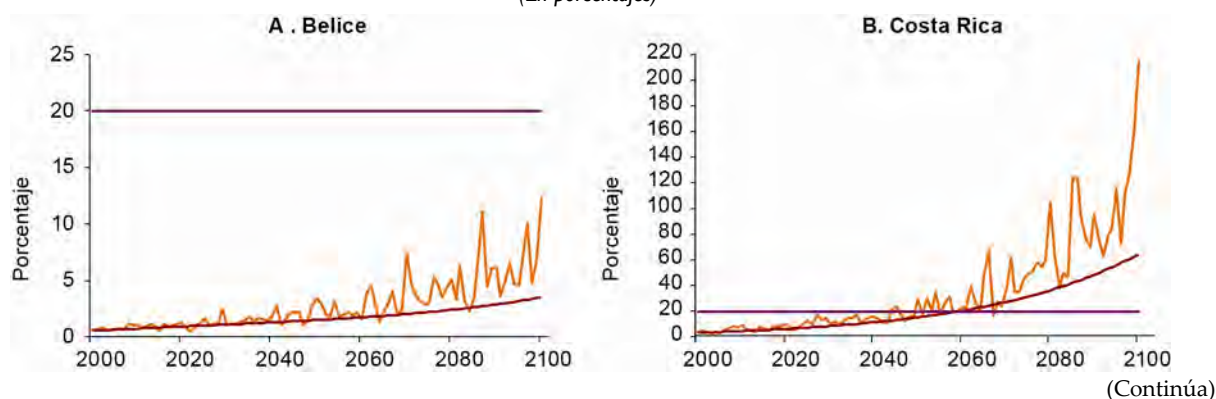
Las estimaciones de intensidad son mayores en todos los países para los escenarios con cambio climático relativo al escenario base. Salvo para Panamá, los estimados son mayores en A2 que en B2 debido a los cálculos de disponibilidad. Con B2 se estima que El Salvador sufriría la mayor intensidad, seguido por Costa Rica con más de 250% y 215%, respectivamente. Con A2, los países con mayor intensidad serían El Salvador con casi 830% y Nicaragua con más de 650%. Dichos niveles son similares a los que experimentan Egipto y algunos países de la península arábiga en la actualidad (FAO, 2010). En ambos escenarios Belice tendría las intensidades más bajas con 12% y 27%, respectivamente.

Los mismos resultados se presentan en los gráficos 4.13 y 4.14 para los escenarios base, B2 y A2, respectivamente, donde la línea roja expresa la intensidad de uso en el escenario base, y la línea naranja expresa la intensidad de uso con B2 o A2. La línea morada señala el 20% como medida crítica de estrés.

Se puede detectar los años en que la condición crítica superior al 20% es rebasada. Aun con el escenario base, Guatemala, El Salvador y Costa Rica sobrepasan este umbral en las décadas posteriores al 2050; Nicaragua, Honduras y Panamá lo alcanzan al final del siglo. En el escenario B2 solo Belice no lo rebasa. En el escenario A2 todos los países lo rebasan. Los gráficos también evidencian la alta variabilidad interanual de las estimaciones, relacionada con las fluctuaciones de precipitación y disponibilidad.

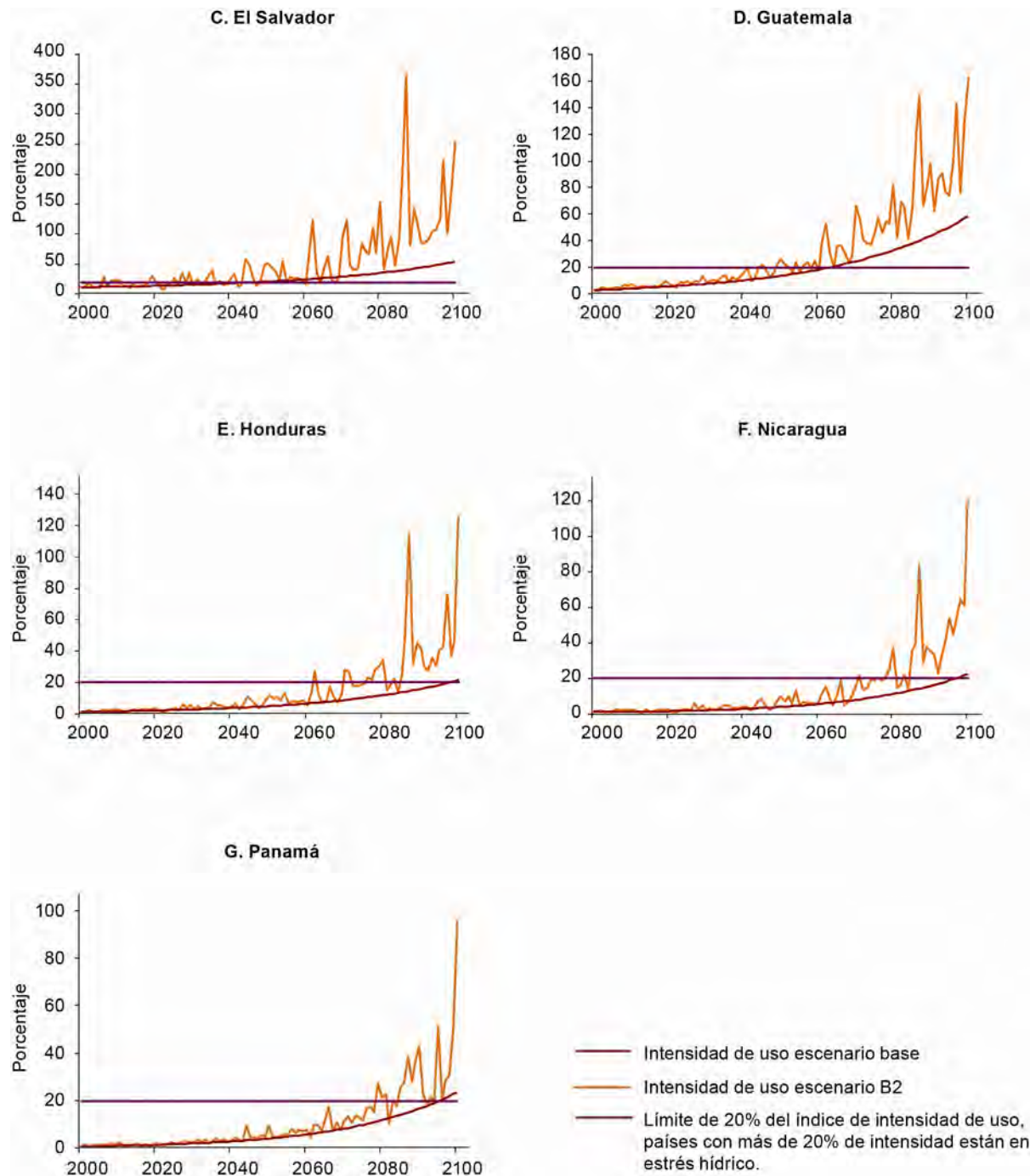
**GRÁFICO 4.13**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE INTENSIDAD DE USO DEL AGUA**  
**CON ESCENARIOS BASE Y B2, 2000-2100**

(En porcentajes)



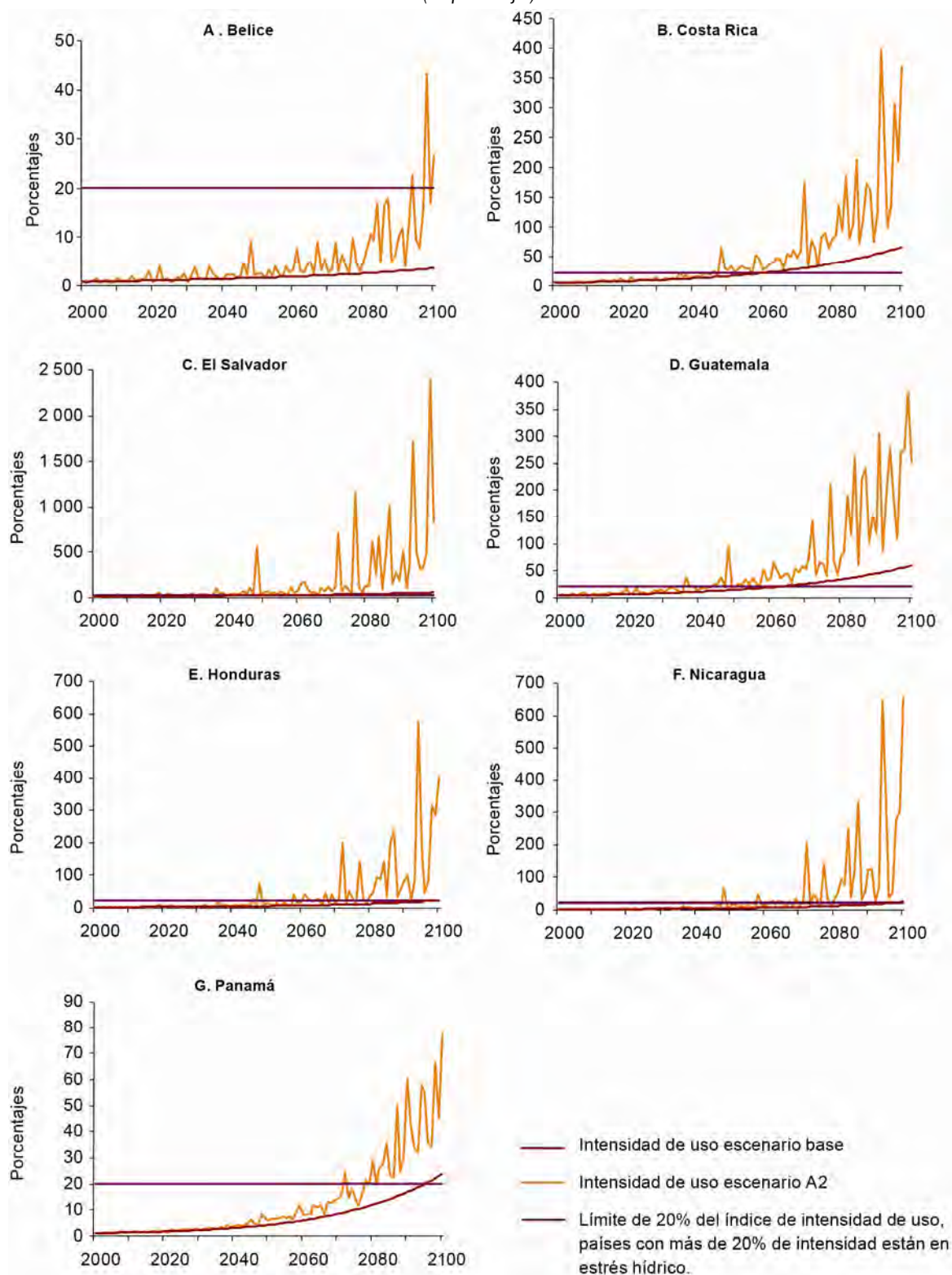
(Continúa)

(Continuación Gráfico 4.13)



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 4.14**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE INTENSIDAD DE USO DEL AGUA**  
**CON ESCENARIOS BASE Y A2, 2000 A 2100**  
*(En porcentajes)*



Fuente: Elaboración propia.



#### 4.8 ESTIMADO INICIAL DE COSTOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

Los cálculos de la diferencia de los costos por empleo de agua entre el escenario base y los escenarios con cambio climático tomaron en cuenta los conceptos que se explican a continuación:

- El costo de recurrir a nuevas fuentes debido al aumento de la demanda por cambio climático respecto a la demanda sin cambio climático, lo cual resulta en un volumen en  $m^3$  a ser cubierto. El costo se obtiene de las tarifas de las nuevas fuentes, considerando que aumentarán en el tiempo. Dicho incremento refleja la necesidad de efectuar el transporte de agua a mayores distancias o usar agua de menor calidad. En el caso de uso industrial, el costo es cero al asumir que no hay cambio entre el escenario base y los escenarios con cambio climático.
- El costo de la oferta insuficiente para la demanda (transvase de una cuenca a otra, sobreexplotación de acuíferos, etc.). Esta pérdida es el déficit de uso (disponibilidad menos uso), el cual se calcula para el escenario base sin cambio climático y para los escenarios con cambio climático. El déficit se calcula como volumen en  $m^3$  multiplicado por la tarifa de cada uso, la cual se supone constante<sup>4</sup>. Para el caso del déficit de uso en el sector industrial se tomó el uso de agua sin cambio climático respecto a la disponibilidad con cambio climático.
- El costo de mermar el volumen ecológico disponible, que representa la pérdida de capital ambiental. Este cálculo está hecho con el volumen ecológico de referencia (volumen ecológico inicial) menos la capacidad de dotación con cambio climático (disponibilidad total renovable con cambio climático menos uso total con cambio climático).<sup>5</sup>

El costo atribuido al cambio climático se calcula mediante la resta del costo del escenario con cambio climático del costo respectivo del escenario base sin cambio climático. Los cálculos se hicieron a precios constantes del 2000. La insuficiente oferta de agua para cubrir la demanda total de los usos consuntivos ocurre cuando el volumen de agua disponible proyectado para cualquiera de los escenarios resulta menor que la suma de las demandas de agua para todos los usos y para el mismo escenario, considerando siempre un volumen fijo para la demanda ecológica.

En cuanto a las tarifas aplicadas, se usaron los datos disponibles en cada país. En ausencia de información se utilizó el promedio de las tarifas existentes en los países con condiciones similares de disponibilidad en términos de precipitación. Para tal efecto, El Salvador, Costa Rica, Honduras y Nicaragua se agruparon en una zona, y Costa Rica y Panamá en otra, mientras Belice se ubica como el país con la tarifa más alta por uso municipal.

Sólo algunos países aplican tarifas específicas para uso industrial y agrícola. Así, para los países sin tarifas se emplearon las de los países que sí las tienen. Para el uso agrícola se consideró una tarifa uniforme de 0,005 dólares/ $m^3$ , que corresponde a la de Costa Rica, puesto que en los otros países no existen y se cobra por hectárea regada o por usuario. Estas tarifas se utilizaron para el costo por déficit de uso agrícola. Para uso industrial se empleó un valor promedio para países en condiciones similares. Por ejemplo, se consideró una tarifa de 0,88 dólares/ $m^3$  para Guatemala, El Salvador y Nicaragua, y de

<sup>4</sup> Este déficit (disponibilidad menos uso) se presenta a final de siglo, lo que ocasiona aumento de costos al final del período para algunos países.

<sup>5</sup> Con excepción del uso industrial (ya que no hay cálculos para este sector con cambio climático), en este caso el cálculo fue hecho como la disponibilidad total menos el uso municipal y agrícola con cambio climático menos el uso industrial sin cambio climático. Este déficit se multiplica por el porcentaje de uso industrial respecto al total, el cual se multiplica por la tarifa del agua industrial.

0,403 dólares/m<sup>3</sup> para Belice y Panamá, 0,62 dólares/m<sup>3</sup> para Honduras y 0,78 dólares/m<sup>3</sup> para Costa Rica; estas tarifas se aplicaron al costo de oferta insuficiente por el cambio climático para la demanda. En el caso del sector industrial, la demanda es la del escenario base.

Para el costo por la creación de nuevas fuentes se utilizaron distintas tasas de crecimiento para las tarifas de agua antes mencionadas. Se tomó el supuesto de 1% de crecimiento anual de las tarifas para Belice, 4% para Guatemala y Panamá, 5% para Costa Rica y Nicaragua y 9% para El Salvador y Honduras, independientemente de los usos. En este punto es importante señalar que se podría utilizar un abanico de posibles supuestos para estimar los costos de nuevas fuentes y enriquecer el ejercicio.

En cuanto al costo de la merma del volumen ecológico, dado que se consideró penalizarlo económicamente, se estimó un costo igual para todos los países sobre la base de la tarifa de Costa Rica, el único país que la aplica. En este sentido se recomienda que los países establezcan una tarifa que refleje su valor (véase el cuadro 4.20).

**CUADRO 4.20**  
**CENTROAMÉRICA: TARIFAS EMPLEADAS EN EL ESTUDIO**  
(Dólares por metro cúbico de agua utilizado)

País	Uso municipal	Uso agrícola	Uso industrial	Uso Ecológico
Belice	1,265	0,005*	0,403	0,0003
Guatemala	0,25	0,005*	0,88	0,0003
El Salvador	0,26	0,005*	0,88	0,0003
Honduras	0,27	0,005*	0,62	0,0003
Nicaragua	0,27	0,005*	0,88	0,0003
Costa Rica	0,49	0,005	0,78	0,0003
Panamá	0,37	0,005*	0,403	0,0003

Nota: Datos con asterisco (\*): cuando no existe una tarifa de agua por volumen, se aplica un cargo fijo muy bajo según las hectáreas regadas o el servicio prestado.

Fuente: Datos de SIECA y DGTI, 2005.

Se estimaron los costos asociados al cambio climático según la trayectoria de la demanda de agua por sector. Tales costos equivaldrían al capital acumulado a invertir en los años de corte para garantizar el abasto ante un cambio de la temperatura media y una menor disponibilidad. Para compararlos se calcularon los costos anuales a Valor Presente Neto (VPN) a tasas de descuento de 0,5%, 2% y 4% como porcentaje del PIB de 2008. Estos costos anuales permiten estimar el costo del impacto del cambio climático sobre la demanda de agua en el período 2008-2100 contra el valor actual de la producción. Los costos estimados se presentan a valor corriente por las tarifas crecientes de nuevas fuentes y no considera subsidios. Así se proyectaron tasas de inflación al 2100 con la información del Índice de Precios al Consumidor (IPC) de los últimos años de cada país, con las cuales se estimaron los costos a precios constantes. Las tasas de inflación en promedio para 2008-2100 son las siguientes: Belice 0,8%, Costa Rica 3,8%, El Salvador 1,7%, Guatemala 3,5%, Honduras 3,7%, Nicaragua 3,9% y Panamá 2,0%.

Los cuadros 4.21 y 4.22 expresan los costos de los escenarios B2 y A2 sobre los recursos hídricos como porcentaje del PIB de cada país a VPN a distintas tasas de descuento. A una tasa de descuento de 0,5% para el período 2008-2100, los costos serían así: Belice 9% y 12% para B2 y A2 respectivamente, Costa Rica 3% y 6%; El Salvador 9% y 16%; Guatemala 6% y 13%; Honduras 6% y 9%; Nicaragua 8% y 14% y Panamá 3% y 4%, y para la región 5% y 10%.

**CUADRO 4.21**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL**  
**CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIO B2) EN LOS RECURSOS HÍDRICOS, 2008 A 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Tasas de descuento	2020	2030	2050	2070	2100
<b>Belice</b>					
0,5 %	1,03	1,64	3,29	5,43	9,14
2 %	0,94	1,40	2,39	3,36	4,53
4 %	0,84	1,15	1,67	2,01	2,28
<b>Costa Rica</b>					
0,5 %	0,17	0,33	0,64	0,97	2,71
2 %	0,16	0,27	0,46	0,61	1,11
4 %	0,14	0,22	0,32	0,37	0,47
<b>El Salvador</b>					
0,5 %	0,28	0,64	1,90	3,99	9,17
2 %	0,25	0,52	1,29	2,23	3,83
4 %	0,22	0,40	0,80	1,14	1,49
<b>Guatemala</b>					
0,5 %	0,51	0,96	2,05	3,35	6,26
2 %	0,46	0,80	1,47	2,06	2,94
4 %	0,41	0,65	1,00	1,21	1,40
<b>Honduras</b>					
0,5 %	0,66	1,20	2,63	4,19	6,38
2 %	0,60	1,00	1,87	2,59	3,28
4 %	0,53	0,81	1,27	1,53	1,68
<b>Nicaragua</b>					
0,5 %	1,46	2,33	4,12	5,73	7,83
2 %	1,34	1,99	3,08	3,82	4,48
4 %	1,20	1,65	2,23	2,49	2,64
<b>Panamá</b>					
0,5 %	0,32	0,56	1,21	1,95	3,30
2 %	0,29	0,48	0,87	1,20	1,63
4 %	0,26	0,39	0,60	0,71	0,81
<b>Centroamérica</b>					
0,5 %	0,37	0,73	1,67	2,82	5,43
2 %	0,34	0,61	1,19	1,72	2,53
4 %	0,30	0,50	0,81	1,00	1,18

Nota: El costo comprende el costo de nuevas fuentes, costo x déficit o uso (demanda) y costo por merma ecológica, todos con cambio climático, menos costo x déficit o uso (demanda) y costo por merma ecológica, sin cambio climático.

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 4.22**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL**  
**CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIO A2) EN LOS RECURSOS HÍDRICOS, 2008 A 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Tasa de descuento	2020	2030	2050	2070	2100
<b>Belice</b>					
0,5 %	1,09	1,90	4,22	6,89	12,12
2 %	0,96	1,58	2,99	4,19	5,82
4 %	0,83	1,26	2,00	2,43	2,79
<b>Costa Rica</b>					
0,5 %	0,15	0,27	0,60	1,00	6,31
2 %	0,13	0,22	0,42	0,60	2,15
4 %	0,11	0,18	0,28	0,34	0,66
<b>El Salvador</b>					
0,5 %	0,35	0,74	2,76	5,89	16,22
2 %	0,31	0,60	1,79	3,19	6,37
4 %	0,26	0,46	1,06	1,56	2,25
<b>Guatemala</b>					
0,5 %	0,59	1,06	2,46	4,11	12,95
2 %	0,52	0,88	1,72	2,47	5,12
4 %	0,45	0,69	1,14	1,40	1,96
<b>Honduras</b>					
0,5 %	0,78	1,39	3,09	5,05	9,14
2 %	0,69	1,15	2,18	3,07	4,33
4 %	0,59	0,91	1,45	1,77	2,05
<b>Nicaragua</b>					
0,5 %	1,17	2,14	4,37	6,59	14,28
2 %	1,03	1,77	3,12	4,13	6,46
4 %	0,88	1,40	2,10	2,47	2,97
<b>Panamá</b>					
0,5 %	0,23	0,46	1,10	2,02	3,90
2 %	0,21	0,38	0,76	1,18	1,77
4 %	0,18	0,30	0,50	0,65	0,78
<b>Centroamérica</b>					
0,5 %	0,43	0,81	1,99	3,52	9,80
2 %	0,38	0,67	1,39	2,09	4,02
4 %	0,33	0,54	0,92	1,17	1,59

Nota: El costo comprende el costo de nuevas fuentes, costo x déficit o uso (demanda) y costo x merma ecológica, todos con cambio climático, menos costo x déficit o uso (demanda) y costo x merma ecológica, sin cambio climático.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.9 CONSIDERACIONES FINALES

Centroamérica es una región privilegiada por su amplia disponibilidad de agua en comparación con otras regiones del mundo. Sin embargo, a escala local hay una notable variabilidad anual, estacional y territorial en cada país, particularmente en las regiones de la vertiente del Pacífico y en el arco seco. En esta vertiente ha habido históricamente mayor demanda con menor disponibilidad que la vertiente del Caribe. A esta situación se suman las deficiencias de los servicios de agua y saneamiento, lo que ocasiona un grave problema de disponibilidad en cantidad y calidad.

Los resultados del análisis de los escenarios futuros se enumeran a continuación:

1. Aun sin considerar los efectos del cambio climático, el escenario futuro de la disponibilidad de agua es motivo de preocupación, considerando la vulnerabilidad de la región asociada al alto nivel de pobreza y a los impactos acumulativos de los eventos extremos frecuentes.
2. Al incluir las proyecciones de cambio climático (escenarios B2 y A2) y sus efectos sobre la disponibilidad de agua, el presente estudio muestra que la disponibilidad futura disminuirá notablemente respecto de la disponibilidad base. Los efectos más acentuados ocurrirían en el escenario A2.
3. La mayor disminución de la disponibilidad total de agua entre los años 2000 y 2100 ocurriría en El Salvador, cuyo indicador se reduciría 82%. Otros países con decrecimiento notable serían Nicaragua y Honduras con 71% y 69%, respectivamente. En promedio, la reducción proyectada de la disponibilidad de agua en Centroamérica es 35% con B2 y 63% con A2. Considerando el aumento de población, la disponibilidad de agua per cápita tiende a reducirse más. En promedio, la reducción estimada con B2 sería 82% y con A2 90% relativo a la reducción de 36% con el escenario base. Es recomendable realizar un análisis más profundo de la disponibilidad futura, tomando en cuenta los flujos transfronterizos.
4. La proyección de demanda de agua sin cambio climático refleja una tendencia creciente, principalmente por la expansión demográfica, el crecimiento del PIB y del consumo interno, suponiendo ningún esfuerzo de mejora en la eficiencia de su uso. Los países que experimentarían el mayor aumento en volumen de demanda de agua en este escenario base son Guatemala, Costa Rica y Nicaragua, en ese orden. En términos porcentuales, los países con mayor aumento de demanda serían Panamá 2.619%, Nicaragua 1.893% y Honduras 1.785%.
5. La demanda de agua del sector municipal en ausencia de cambio climático registra un notable incremento, particularmente en Guatemala, El Salvador y Costa Rica debido al aumento poblacional y suponiendo ningún esfuerzo de mejora en la eficiencia de su uso. Con cambio climático hay un aumento significativo adicional relacionado con la temperatura (según los supuestos del estudio) en todos los países menos en Belice, y una reducción del volumen en las últimas décadas en Costa Rica por reducción de su población. Los mayores aumentos por cambio climático en el escenario A2 al año 2100 serían: Nicaragua 395%, Guatemala 234%, Honduras 290% y Panamá 214%.
6. La demanda de agua para uso agrícola representa el mayor requerimiento en la región; en el escenario base crecerá mucho más en Guatemala que en el resto en términos absolutos; en términos porcentuales el mayor sería Panamá con un crecimiento de 2.840%. En los escenarios con cambio climático la demanda se incrementaría sobre el escenario base,



particularmente en la segunda mitad del siglo por la mayor sensibilidad del sector a las variaciones del clima, lo que se refleja en los cálculos al compensar la mayor evapotranspiración en áreas bajo riego. A nivel regional, al 2100 la demanda en el escenario base habría aumentado casi 1.800% sobre el año 2000. Con B2 subiría alrededor de 2.300% y con A2 casi 2.400%. La diferencia entre B2 y A2 para este sector se debe a la variabilidad de la evapotranspiración de A2 relacionada con mayor variabilidad de la precipitación.

7. El indicador de intensidad de uso arroja, aun en el escenario base, que Guatemala, El Salvador y Costa Rica sobrepasan el umbral crítico de 20% en las décadas posteriores a 2050. Nicaragua, Honduras y Panamá lo alcanzarían al final del siglo. En el escenario B2 sólo Belice no lo rebasa. En el escenario A2 todos los países lo rebasan. A nivel de la región, la intensidad sube de aproximadamente 3,2% en 2000 a 36% en 2100 en el escenario base. Con el cambio climático, este indicador llega a 140% con B2 y casi a 375% con A2 al 2100. En todos los países los estimados de intensidad son mayores para los escenarios con cambio climático relativos al escenario base y, con excepción de Panamá, los estimados son mayores para A2 que B2. Con B2 se estima que El Salvador sufriría la mayor intensidad, seguido por Costa Rica con más de 250% y 215%, respectivamente. Con A2 los países con mayor intensidad serían El Salvador con casi 830% y Nicaragua con más de 650%. Dichos niveles son similares a los que experimentan Egipto y algunos países de la península arábiga en la actualidad. En ambos escenarios, Belice tendría las intensidades más bajas con 12% y 27%, respectivamente.
8. Los estimados iniciales de los costos asociados a los impactos sugieren que los costos en A2 son aproximadamente el doble de los de B2, con 10% y 5% de PIB de 2008 de la región a VPN y tasa de descuento de 0,5%. Con ambos escenarios habrá diferenciación de costos por cambio climático entre los países. Con A2 los costos de El Salvador y Nicaragua llegan a 16% y 14% del PIB de 2008, respectivamente. Los de Guatemala y Belice llegan a 13% y 12%. Los menos afectados pero con costos todavía grandes son Honduras (9%), Costa Rica (6%) y Panamá (4%). Este orden no se corresponde con el nivel de estrés hídrico de algunos países porque está afectado por la diferencia de las tarifas de agua entre los países. Sin embargo, está claro que El Salvador tendrá la mayor intensidad de uso y el mayor costo. Belice y Panamá enfrentarían la menor intensidad de uso y Costa Rica y Panamá tendrán los menores costos.
9. Se recomienda profundizar las consultas sobre datos disponibles y avanzar con su homologación para expandir el análisis de demanda; y realizar un análisis de disponibilidad que integre los flujos transfronterizos.

## 5. AGRICULTURA

### 5.1 INTRODUCCIÓN<sup>1</sup>

El sector agropecuario es uno de los motores de la economía de Centroamérica, representando aproximadamente el 11% del PIB total. Considerando la contribución de la agroindustria, su aportación es de 18%.<sup>2</sup> El sector es también el principal abastecedor de insumos para la industria y contribuye con el 35% de las exportaciones totales. Junto con el medio rural absorbe una parte importante de la población económicamente activa y es una fuente importante de ingresos para los hogares rurales. No obstante, el dinamismo de la producción es lento y sus rendimientos se han mantenido estancados, afectando la competitividad y las posibilidades de crecimiento. La baja productividad se explica por la escasa capitalización y los daños provocados por fenómenos climáticos, entre otros factores.

El clima y sus variaciones constituyen uno de los determinantes de la producción agrícola y de alimentos; influyen directamente en el crecimiento y el desarrollo de plantas y cultivos, en el balance hidrológico, en la frecuencia, tipo e intensidad de los cultivos y en la erosión de la tierra. Los efectos del clima han provocado pérdidas importantes en el sector agrícola de la región. El fenómeno El Niño se ha traducido en disminución de los niveles de precipitación, retraso de la época de lluvias, aumento de la temperatura media, reducción de la nubosidad, veranos más prolongados y mayor insolación. Esto ha aumentado la frecuencia de incendios forestales y ha ocasionado pérdidas en la producción de granos y desfases en la ejecución de prácticas de manejo agrícola (siembra, control de plagas y recolección de cosechas).

Ahora bien, estos impactos deben ubicarse en un contexto más amplio, considerando que la producción y el rendimiento de los cultivos dependen de un conjunto amplio de factores, como la combinación de insumos, los fertilizantes, la tecnología, la irrigación, la administración de riesgos, el manejo de plagas, el trabajo y las características del suelo. En este sentido, identificar los impactos climáticos requiere considerar los efectos de todas las variables en la evolución de la actividad y la trayectoria tendencial esperada. Así, el principal objetivo del presente capítulo es identificar y cuantificar los impactos en la producción agropecuaria del conjunto de los países de Centroamérica, derivados de un aumento de la temperatura y de los cambios previstos en los patrones de precipitación esperados en el presente siglo.

Las investigaciones empíricas del cambio climático en el sector agropecuario han identificado que sus efectos están asociados principalmente al aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub>, cambios de la temperatura, variación de los patrones de precipitación, disponibilidad de

---

<sup>1</sup> Para mayor información, véase el estudio “Istmo centroamericano: efectos del cambio climático sobre la agricultura” realizado por la Unidad de desarrollo agrícola de la CEPAL México en el marco del proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica” (Ramírez, Ordaz y Mora, 2010)

<sup>2</sup> Los datos no incluyen a Belice.

recursos hídricos y presencia anómala de eventos extremos. No obstante, los resultados muestran relaciones complejas entre estos factores debido a los límites específicos de tolerancia y resistencia de los cultivos. Los impactos tienden a crecer exponencialmente y pueden alcanzar puntos de inflexión donde se conjuguen factores que podrían afectar seriamente la producción. Además, estos impactos son diferenciados, muy heterogéneos e incluso pueden tener efectos en direcciones contrarias.

Así por ejemplo, el informe regional del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (Magrin y otros, 2007) y el Informe Stern (2007) estiman que el cultivo del maíz en los Andes y en Centroamérica disminuirá en forma importante por el incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). En algunos países se espera una contracción de la producción de hasta 15% (Nagy y otros, 2006). En cambio, en zonas templadas (sudeste de América del Sur) el rendimiento de la soja, el trigo y en menor medida el maíz aumentará, por lo menos inicialmente. Pero en las regiones tropicales y subtropicales la productividad podría reducirse hasta en un tercio de los niveles actuales por el incremento del estrés térmico y la mayor sequedad del suelo. También se espera una reducción generalizada de la productividad del arroz en toda América Latina, pudiendo bajar hasta 31% en Costa Rica (Magrin y otros, 2007). En general, los modelos de simulación ofrecen resultados complejos con un alto grado de incertidumbre.

Los eventuales efectos del cambio climático sobre la agricultura de Centroamérica han sido estimados bajo diferentes escenarios. Un escenario de ascenso de temperatura de 3,5 °C y disminución de lluvia de 30%, arroja una caída del rendimiento de maíz de hasta 34%, de frijol de hasta 66% y de arroz hasta 27% en Guatemala. En Costa Rica, según los modelos del Centro Hadley con los programas MAGICC y SCENGEN y escenarios optimista, moderado y pesimista, se determinó que los rendimientos de arroz, papa y frijol disminuirán, pero el rendimiento del café aumentará conforme aumente la temperatura. En Panamá, con un modelo Hadley, se determinó que los rendimientos del maíz aumentarían casi 10% en el 2010, pero disminuirían 34% en 2050 y 21% en 2100 respecto a la productividad actual. Para Honduras un estudio determinó que se reducirán los rendimientos de maíz en 22% en 2070 (ANAM, 2000; IMN-MINAET, 2000; MARN, 2001; Díaz-Ambrona, Pazos y Tovar, 2004). Los resultados representan una serie de escenarios y arrojan rangos de probabilidades más que valores precisos.

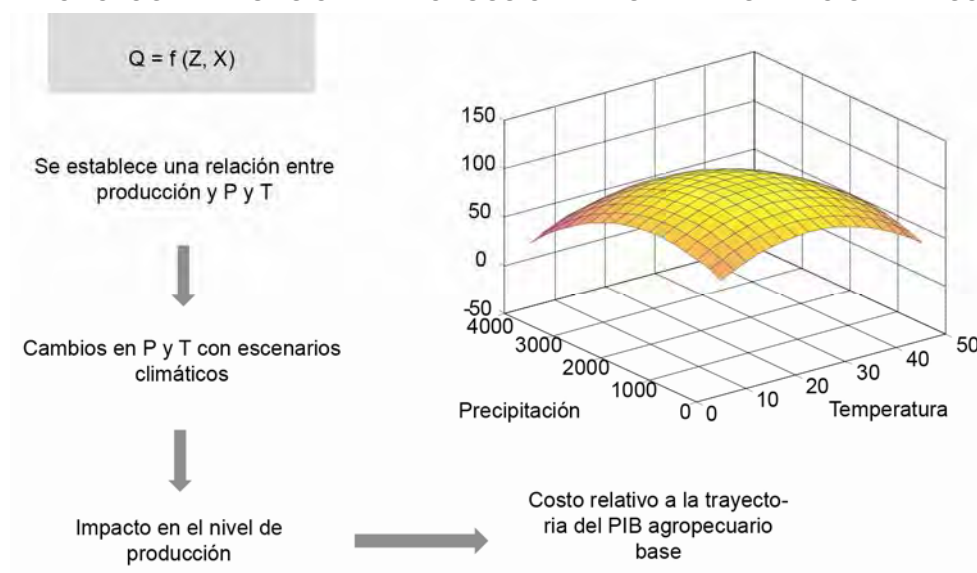
## 5.2 METODOLOGÍA

En el proyecto de “La Economía del Cambio Climático en Centroamérica”, el análisis de los impactos en el sector agropecuario se basa en el enfoque de la función de producción, el cual permite analizar los efectos del cambio climático sobre la producción y el rendimiento de diversos cultivos. Una función de producción agrícola  $Q$  se puede expresar con variables endógenas  $X$  (trabajo, características de los agricultores, capital y otros insumos) y exógenas  $Z$  (variables climáticas e irrigación). La función de producción agrícola se representa como sigue:

$$(5.1) \quad Q = f(Z, X)$$

Con esta función y datos históricos de producción y clima se puede establecer la relación entre estos variables, la cual se utiliza para estimar los impactos de los cambios previstos en los escenarios futuros de cambio climático (véase el diagrama 5.1).

**DIAGRAMA 5.1**  
**METODOLOGÍA DE FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN APLICADA AL CAMBIO CLIMÁTICO**



Fuente: Elaboración propia.

En este estudio se analizan en primer lugar los efectos del cambio climático en los índices de producción agropecuaria, producción de cultivos, producción de cereales y producción pecuaria. Así, se especificaron las siguientes cuatro funciones de producción:

$$Agropecuaria_{it} = \delta_0 + \delta_1 Z_{it} + \delta_2 X_{it} + \varepsilon_{1it}, \quad i=1, \dots, N, \text{ países}; t=1, \dots, T, \text{ tiempo}$$

$$Cultivos_{it} = \beta_0 + \beta_1 Z_{it} + \beta_2 X_{it} + \varepsilon_{2it}, \quad i=1, \dots, N, \text{ países}; t=1, \dots, T, \text{ tiempo}$$

$$Cereales_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Z_{it} + \alpha_2 X_{it} + \varepsilon_{3it}, \quad i=1, \dots, N, \text{ países}; t=1, \dots, T, \text{ tiempo}$$

$$Pecuaria_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 Z_{it} + \lambda_2 X_{it} + \varepsilon_{4it}, \quad i=1, \dots, N, \text{ países}; t=1, \dots, T, \text{ tiempo}$$

Una segunda vertiente del análisis busca identificar los impactos de las variables climáticas en los rendimientos promedio de cultivos particulares claves, como maíz, frijol y arroz:

$$Maíz_{it} = \alpha_1 + \alpha_2 Z_{it} + \alpha_3 X_{it} + u_{1it}, \quad i=1, \dots, N, \text{ países}; t=1, \dots, T, \text{ tiempo}$$

$$Frijol_{it} = \beta_1 + \beta_2 Z_{it} + \beta_3 X_{it} + u_{2it}, \quad i=1, \dots, N, \text{ países}; t=1, \dots, T, \text{ tiempo}$$

$$Arroz_{it} = \delta_1 + \delta_2 Z_{it} + \delta_3 X_{it} + u_{3it}, \quad i=1, \dots, N, \text{ países}; t=1, \dots, T, \text{ tiempo}$$

Para estimar la función de producción se elige por lo general una forma funcional cuadrática que capture los cambios en las variables climáticas y su efecto en la producción y en los rendimientos. La función cuadrática permite calcular el rendimiento o nivel de producción óptimo ante determinados valores de temperatura y precipitación. De esta manera se pueden obtener la producción o rendimiento máximo por cultivo y los valores óptimos de cada factor.

#### **RECUADRO 5.1 IMPACTOS DE LA TEMPERATURA EN LOS RENDIMIENTOS DE GRANOS BÁSICOS A NIVEL GLOBAL**

El informe del IPCC presenta un análisis empírico de los rendimientos de maíz, trigo y arroz en latitudes media a alta y latitudes bajas, como se muestra en los siguientes gráficos. Así, en latitudes medias y altas, con un incremento de temperatura entre 1 °C y 3 °C, podrían ocurrir modestos beneficios en los rendimientos, bajo el supuesto de disponibilidad de agua. No obstante, habrá efectos negativos en África, y regiones tropicales, semiáridas y de altitudes bajas. Estos resultados son similares en varios análisis. Sin embargo, con aumentos superiores a los 3 °C, los impactos negativos se generalizarán. Los mayores efectos se podrían esperar en las regiones de latitudes bajas, con reducciones de hasta 60% en rendimiento de maíz (Easterling y otros, 2007).

Diversos estudios de impactos en precios de cereales muestran que aumentos moderados de la temperatura global media pueden influir en un aumento en la producción de cultivos y ganado y en un pequeño decremento de precios de los alimentos, mientras que cambios en la temperatura global media en el rango de 4 a 5 °C pueden traducirse en reducciones netas de la producción y aumentos pronunciados de los precios a nivel global (Easterling y otros, 2007).

En el siguiente gráfico se muestra el resultado de 69 estudios que simulan la sensibilidad de los principales cereales respecto a cambios en la temperatura, distinguiendo regiones de latitudes media a alta y regiones de latitud baja. Los puntos rojos indican los rendimientos a los cambios en temperatura sin adaptación; los puntos verdes oscuros representan las respuestas con adaptación. La adaptación incluye cambios en plantación, cambios en períodos de cultivos e implementación de riego; las líneas representan el mejor ajuste de estos resultados. Los puntos de color claro en los gráficos B y C representan las respuestas de los cultivos bajo escenarios de reducción de la precipitación.

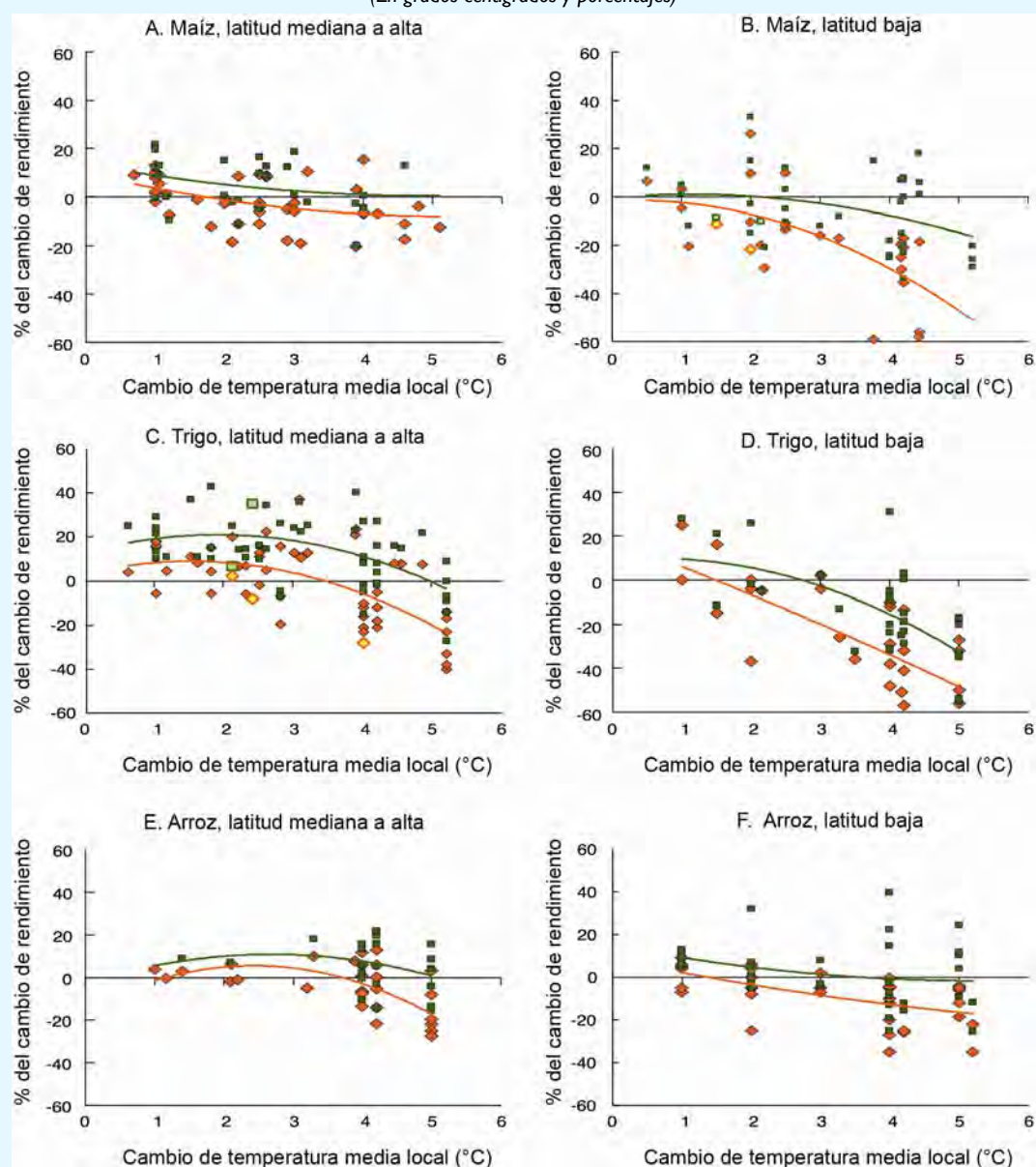
Los gráficos muestran que en regiones de media a alta latitud, con un incremento de 1 a 3 °C, con un rango de concentraciones de CO<sub>2</sub> y cambios en precipitación, podría haber pequeños impactos positivos en los principales cereales. Con un calentamiento mayor, el impacto sería negativo (véanse gráficos A, C y E). Para las regiones de baja latitud estas simulaciones indican que aumentos moderados en la temperatura tendrían impactos negativos en los rendimientos de los principales cereales (véanse gráficos B, D y F). Con aumentos superiores a 3 °C, los impactos promedios serían estresantes para todos los cultivos evaluados en todas las regiones.

Las regiones de latitud media a alta abarcan la mayor parte del área de la producción mundial de cereales. Esto sugiere que el potencial de la producción mundial, definido por Sivakumar y Valentin (1997) como equivalente al rendimiento de los cultivos, se vería amenazado por aumentos de más de 1 °C en temperatura y difícilmente podría adaptarse con más de 3 °C. Los estudios indican que cambios en los patrones de precipitación pueden generar menores rendimientos, tanto en latitudes bajas para el maíz, como para el trigo en regiones de latitudes medias a altas.

(continúa)



(continuación recuadro 5.1)

**SENSIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ, TRIGO Y ARROZ AL CAMBIO DE LA MEDIA LOCAL DE TEMPERATURA***(En grados centígrados y porcentajes)*

Nota: Los resultados de los gráficos se desprenden de 69 estudios de múltiples simulaciones. La media local del cambio en temperatura se utiliza como proxy para indicar la magnitud del cambio climático en cada estudio.

Fuente: Easterling y otros, 2007.

Como primer paso, en este estudio se utiliza el enfoque de la función de producción para calcular el impacto histórico de los cambios de temperatura y precipitación sobre el sector agropecuario o productos particulares para el período 1961-2005 y así establecer una relación entre producción y las dos variables de clima. Para los índices de producción se optó por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) porque proporciona un mejor ajuste y significancia de las variables climáticas. La muestra total de la estimación por medio de MCO consistió en 315 datos (para mayor información sobre este estudio, véase Ramírez, Ordaz y Mora, 2010).

En el análisis se utilizaron los índices de producción agropecuaria tipo Laspeyres formulados por la FAO<sup>3</sup> para los siete países. Se utilizaron los escenarios macroeconómicos y climáticos del proyecto (véanse los cap. 1 y 2 sobre escenarios climáticos y macroeconómicos.) Los datos de la superficie de tierra arable y cultivos permanentes, la superficie de tierra bajo riego, la población económicamente activa (PEA) rural y la PEA total provienen de la base FAOSTAT<sup>4</sup>. Para los índices de producción agropecuaria, de cultivos y cereales se consideró la precipitación acumulada en la época de lluvias para capturar el efecto de la variable precipitación en la época de siembra y crecimiento de los cultivos. Para establecer la relación entre temperatura, precipitación y producción agrícola se realizaron las simulaciones correspondientes, manteniendo constante el resto de las variables con valores del 2005.

### 5.3. SENSIBILIDAD DE ÍNDICES DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA A LAS VARIABLES CLIMÁTICAS

Las funciones de producción permiten hacer un análisis hipotético de los impactos y costos marginales de las variables temperatura y precipitación. Este análisis se aplicó a los índices de producción agropecuaria, agrícola, cereales y pecuaria con precios del 2000. Se utilizaron los escenarios climáticos del proyecto, permitiendo variaciones de temperatura y precipitación en las funciones de producción y suponiendo la inexistencia de cambios tecnológicos y una adaptación nula de los agricultores a los efectos del cambio climático.

Los resultados empíricos muestran la sensibilidad de la producción agrícola a variables climáticas. Las ecuaciones de índices de producción agropecuaria, cultivos y cereales fueron estimadas con la temperatura máxima anual y la precipitación acumulada en la época de lluvias. Los resultados se muestran en el cuadro 5.1. Los signos y magnitudes de las variables precipitación y temperatura máxima son los esperados en el término lineal y cuadrático. Sin embargo, el término lineal de la precipitación no es significativo en las ecuaciones de los índices de producción agropecuaria y cereales. En temperatura, el término lineal y el cuadrático son estadísticamente significativos en todos los casos.

Para el índice de producción pecuaria la precipitación arrojó efectos contradictorios tanto en su término lineal como en el cuadrático, dando una forma convexa, es decir, mayor producción pecuaria con poca y excesiva precipitación. Este resultado puede deberse a que la relación entre producción pecuaria y precipitación es predominantemente indirecta y compleja, incluyendo su influencia en producción de pastos y granos utilizados como insumos por este sector. Igualmente se analizó la relación utilizando la desviación de la precipitación respecto a su valor promedio. Esta desviación identifica los años extremos en los que hay poca o mucha precipitación respecto a la media. La relación esperada respecto al índice de producción es negativa, pues a mayor desviación menor producción pecuaria por el riesgo de falta o exceso de agua. El resultado de la ecuación del índice de producción pecuaria confirma esta relación (véase el cuadro 5.1).

---

<sup>3</sup> Los índices FAO de producción agropecuaria muestran el nivel relativo del volumen global de producción agrícola anual en comparación con el período base 1999-2001. Están basados en la suma de los precios ponderados de los productos agrícolas producidos después de deducir los gastos en semillas y alimentación de los animales, ponderados del mismo modo. El agregado resultante representa la producción disponible para cualquier utilización, salvo semillas y alimentación de animales. Todos los índices son calculados con la fórmula Laspeyres. Las cantidades de producción de cada producto son ponderadas por la media de los precios internacionales para el período base 1999-2001 y sumadas cada año.

<sup>4</sup> FAO, División de estadísticas.

**CUADRO 5.1**  
**ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICES DE PRODUCCIÓN**

	<b>Agropecuaria</b>	<b>Cultivos</b>	<b>Cereales</b>	<b>Pecuaria</b>
Desviación de la precipitación				-0,004974 ** (2,259)
Precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre	0,029883 (1,324)	0,059692 ** (2,026)	0,013575 (0,504)	
Precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre <sup>2</sup>	-0,000011 * (1,839)	-0,000019 ** (2,420)	-0,000006 (0,776)	
Temperatura máxima	7,832705 *** (4,658)	5,966663 *** (2,623)	6,958191 *** (3,389)	10,225049 *** (9,053)
Temperatura máxima <sup>2</sup>	-0,146338 *** (3,932)	-0,107786 ** (2,046)	-0,142642 *** (3,004)	-0,195 *** (5,876)
Participación de PEA rural / PEA total	-144,80477 *** (13,506)	-147,64344 *** (9,717)	-79,64499 *** (5,729)	-179,208276 *** (16,026)
Población	0,000007 *** (16,128)	0,000004 *** (3,361)	-0,000001 (0,371)	0,000005 *** (7,756)
Superficie de tierra arable y cultivos permanentes		0,011537 *** (2,795)	0,015763 *** (3,299)	
Superficie de riego		0,01983 (-0,269)	0,087658 (-1,121)	
PIB			0,002852 *** (4,621)	0,001069 *** (2,806)
Observaciones	315	315	315	315
R <sup>2</sup> / <sup>a</sup>	0,53	0,36	0,46	0,61

Nota: Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis. \*\*\*significativo al 1%; \*\* significativo al 5%; \* significativo al 10%.

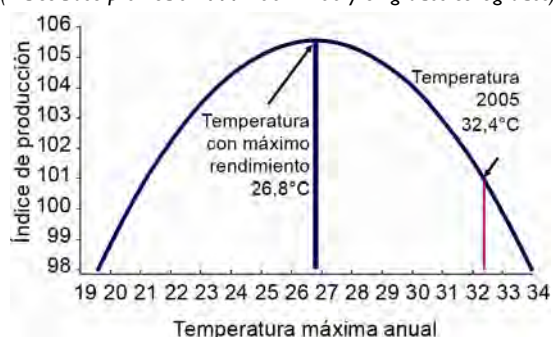
<sup>a</sup> Debido a que se suprimió la constante de las ecuaciones, la R<sup>2</sup> no es relevante, sin embargo se reporta la proporcionada por el programa de E-views.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de función de producción con los datos históricos arroja curvas de producción o rendimiento en función de cambios de temperatura o precipitación. En ellas se puede identificar el punto de máxima producción tal como el estimado de producción en función del valor de este variable en un año dado con el resto de las variables constantes y solo variando la variable climática correspondiente. Por ejemplo, en el caso del índice de producción agropecuaria, el análisis de datos de 1961 a 2005 sugiere una curva de producción relativa a temperatura presentada en el gráfico 5.1. El rango de temperatura con producción es superior a 19 °C hasta 34 °C por la combinación de productos presentes en el índice de producción regional. La temperatura máxima relacionada con el máximo de este índice sería 26,8 °C. No obstante, por ejemplo, en 2005 la temperatura máxima promedio de la región fue de 32,4 °C, lo que sugiere impactos negativos por aumentos de temperatura. En el caso de la precipitación, con un rango de 500 a 2.250 mm, la estimación indica un máximo del índice de producción agropecuaria óptima con un nivel de 1.334 mm (véase el gráfico 5.2). Esto significa que con una tendencia de precipitación regional promedio decreciente hasta este nivel, el índice de producción aumentaría. Los resultados para los índices de producción agrícola y cereales se presentan en los gráficos 5.3 a 5.6. Por las razones expuestas, en el caso de la producción agropecuaria solo se presenta el resultado de temperatura (véase el gráfico 5.7).

**GRÁFICO 5.1**  
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN  
AGROPECUARIA ANTE  
VARIACIONES DE TEMPERATURA

(Índice base promedio 1999-2001=100 y en grados centígrados)



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 5.2**  
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN  
AGROPECUARIA ANTE  
VARIACIONES DE PRECIPITACIÓN

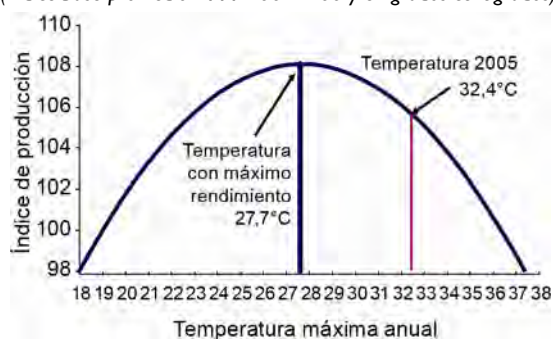
(Índice base promedio 1999-2001=100 y en milímetros)



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 5.3**  
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN  
AGRÍCOLA (CULTIVOS) ANTE VARIACIONES  
DE TEMPERATURA

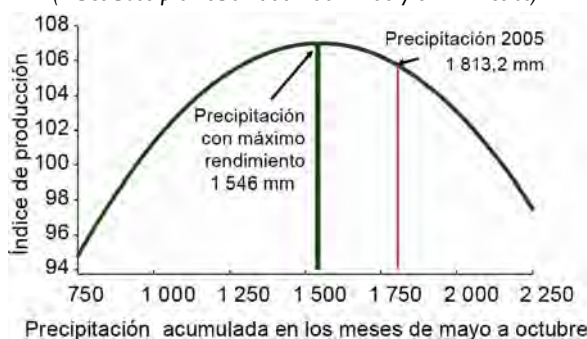
(Índice base promedio 1999-2001=100 y en grados centígrados)



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 5.4**  
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN  
AGRÍCOLA (CULTIVOS) ANTE VARIACIONES  
DE PRECIPITACIÓN

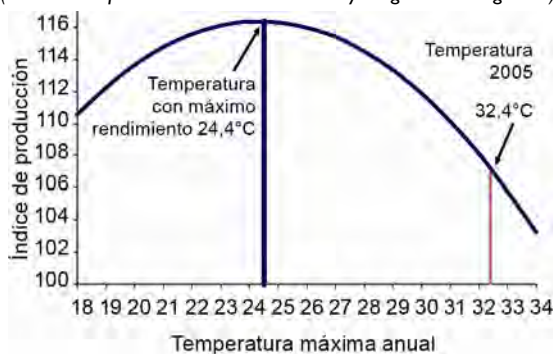
(Índice base promedio 1999-2001=100 y en milímetros)



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 5.5**  
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN  
DE CEREALES ANTE VARIACIONES DE  
TEMPERATURA

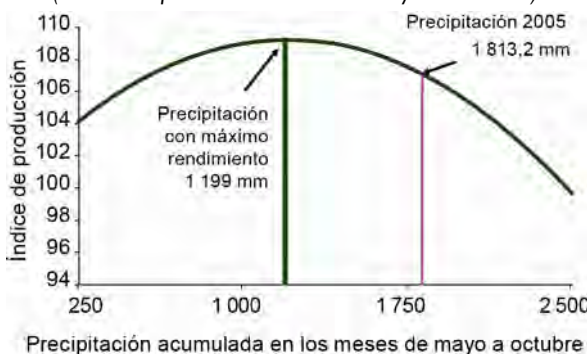
(Índice base promedio 1999-2001=100 y en grados centígrados)



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 5.6**  
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN  
DE CEREALES ANTE VARIACIONES DE  
PRECIPITACIÓN

(Índice base promedio 1999-2001=100 y en milímetros)

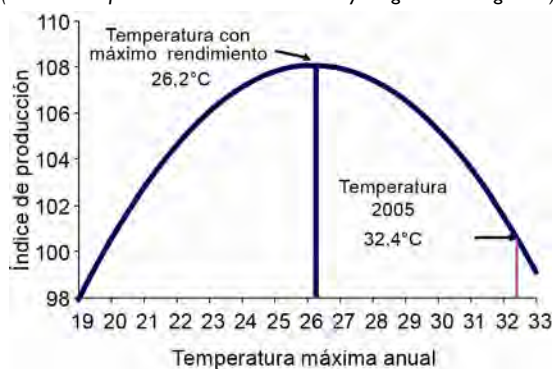


Fuente: Elaboración propia.



**GRÁFICO 5.7**  
**CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN PECUARIA**  
**ANTE VARIACIONES DE TEMPERATURA**

*(Índice base promedio 1999-2001=100 y en grados centígrados)*

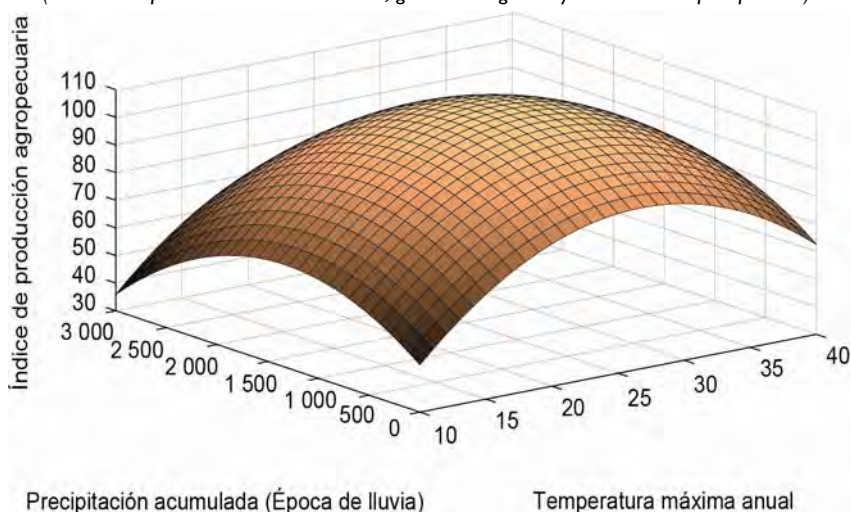


Fuente: Elaboración propia.

Los gráficos 5.8 a 5.10 muestran el comportamiento de los índices de producción agropecuaria, cultivos y cereales a distintos niveles de temperatura y precipitación, donde se combinan los resultados de los dos análisis en un gráfico de dos dimensiones. Por ejemplo, el gráfico 5.8 combina los resultados de las curvas de los gráficos 5.1 y 5.2. El análisis del conjunto del efecto de la temperatura máxima anual y la precipitación muestra que, dentro de ciertos rangos, es posible compensar el aumento de temperatura con mayor cantidad de agua. Ello, sin embargo, no es sustentable a largo plazo y plantea además problemas de uso de agua.

**GRÁFICO 5.8**  
**CENTROAMÉRICA: IMPACTO DE CAMBIOS EN PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA**  
**EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA**

*(Índice base promedio 1999-2001=100, grados centígrados y milímetros de precipitación)*

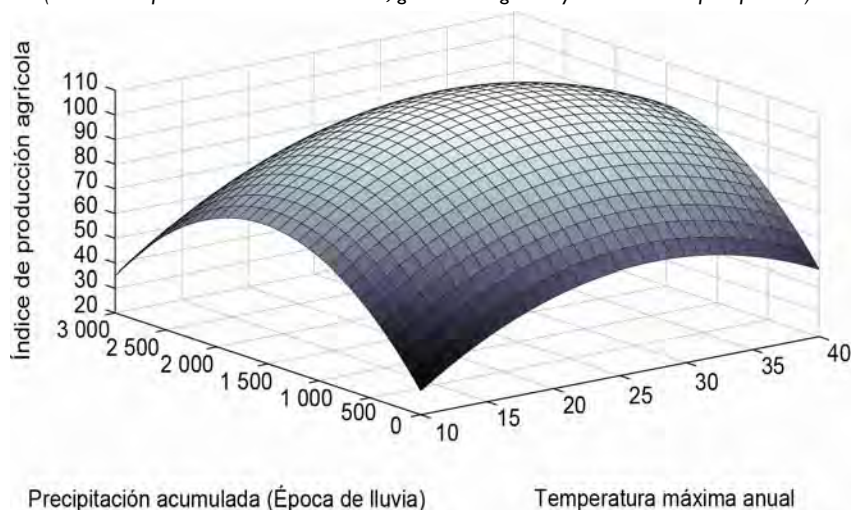


Fuente: Elaboración propia.



**GRAFICO 5.9**  
**CENTROAMÉRICA: IMPACTO DE CAMBIOS EN PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA**  
**EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

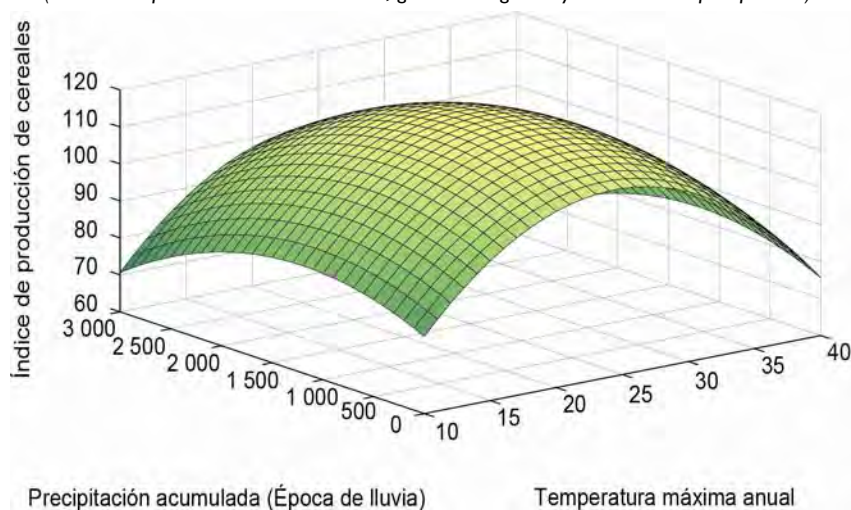
(Índice base promedio 1999-2001=100, grados centígrados y milímetros de precipitación)



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 5.10**  
**CENTROAMÉRICA: IMPACTO DE CAMBIOS EN PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA**  
**EN LA PRODUCCIÓN DE CEREALES**

(Índice base promedio 1999-2001=100, grados centígrados y milímetros de precipitación)



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la temperatura máxima anual y la precipitación acumulada en la época de lluvias en los siete países, se observa que sus niveles actuales no son óptimos para la producción. En la mayoría de los casos se observa que ambas variables a nivel regional superan los valores óptimos para la producción y que se requieren medidas de adaptación desde ahora. En el caso de la temperatura, el aumento previsto se alejaría aun más del nivel óptimo. En el caso de la precipitación promedio regional, una reducción menor podría mejorar los rendimientos medios, pero una reducción mayor pasaría el indicador a la parte de menor rendimiento de la curva. Sin embargo, este resultado es agregado a nivel regional; a nivel de países y al interior de cada uno existen diferencias.

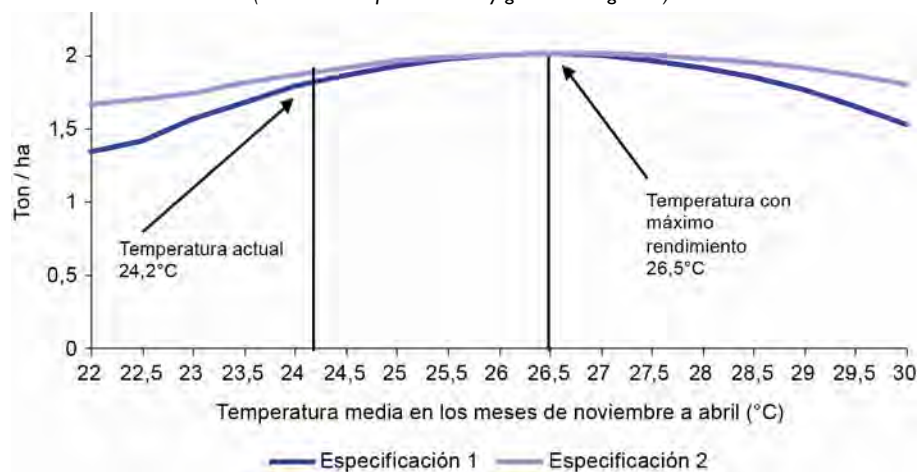
#### 5.4 SENSIBILIDAD DE LOS RENDIMIENTOS DEL MAÍZ, FRIJOL Y ARROZ A LAS VARIABLES CLIMÁTICAS

En el 2007, los países de Centroamérica destinaron 1,76 millones de hectáreas al cultivo del maíz, 732.000 al de frijol y 227.000 al de arroz, representando aproximadamente la mitad del total del área cultivada de la región. Dada la importancia de estos cultivos en el total de la actividad agropecuaria y la seguridad alimentaria, se hizo un análisis inicial de los mismos. Se especificaron funciones de producción sobre los rendimientos (toneladas por hectárea) para estimar el impacto de las variables climáticas. Los datos empleados comprenden el período 1961-2006. En cada modelo se realizaron diferentes especificaciones para obtener resultados estadísticamente robustos. Las variables explicativas empleadas en las especificaciones incluyen: población, superficie de riego, superficie de tierra arable y, como variables climáticas, temperatura promedio, temperatura media en la estación seca (de noviembre a abril), o temperatura media de la estación lluviosa, que comprende los meses restantes, y los respectivos cuadrados.

##### MAÍZ

A partir de los resultados de los coeficientes estimados, se hacen simulaciones con variaciones de temperatura y precipitación, manteniendo constantes los demás términos con cifras de 2006. El gráfico 5.11 muestra los rendimientos del maíz ante distintos niveles de temperatura. Se observa que el nivel de temperatura óptimo para la región es alrededor de 26,5 °C, alcanzando prácticamente dos toneladas por hectárea. Considerando los niveles de temperatura actuales (utilizando el nivel de 2005 como ejemplo), existe un margen de entre 1 y 2 grados en el que los rendimientos no se ven afectados de manera importante. No obstante, si la temperatura media se eleva más de 2 °C, se registrarían pérdidas de productividad del maíz. Los resultados en precipitación muestran (véase el gráfico 5.12) que el nivel actual es significativamente menor que el óptimo. Aunque las pérdidas potenciales asociadas a una mayor temperatura media podrían ser compensadas por un uso mayor y más eficiente del agua, esta medida puede volverse no sostenible si la precipitación y disponibilidad de agua se redujera. Considerando una disminución de la precipitación entre 15% y 20% y las condiciones actuales de producción, los rendimientos se reducirían hasta en 1,5 toneladas por hectárea. La especificación 2 incluye la variable población, mientras que la primera no la incluye.

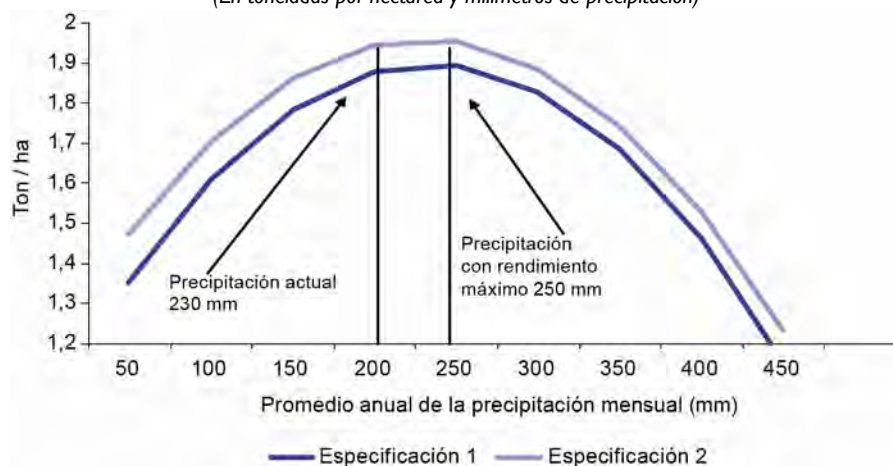
**GRÁFICO 5.11**  
**CENTROAMÉRICA: VARIACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ ANTE VARIACIONES DE TEMPERATURA**  
(En toneladas por hectárea y grados centígrados)



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 5.12**  
**CENTROAMÉRICA: VARIACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ ANTE**  
**VARIACIONES DE PRECIPITACIÓN**

(En toneladas por hectárea y milímetros de precipitación)

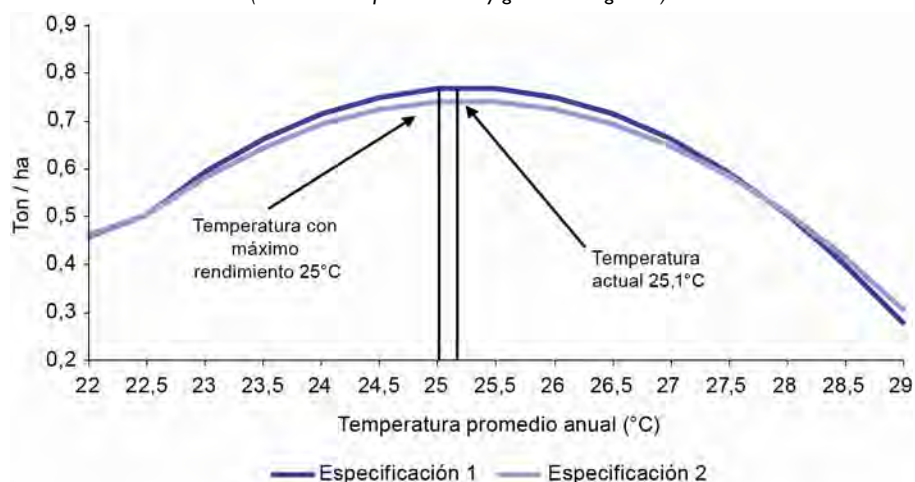


Fuente: Elaboración propia.

## FRIJOL

La especificación de la función de producción para el rendimiento de frijol indica que la temperatura en la región, ejemplificado por el nivel de 2005, ya llegó al nivel de máximo rendimiento (véase el gráfico 5.13). El nivel actual de precipitación es ligeramente inferior al de rendimiento máximo (véase el gráfico 5.14). En este sentido, es probable que aumentos mayores de temperatura y reducciones o variabilidad de la precipitación afectarían seriamente la producción de frijol y la seguridad alimentaria de grandes segmentos de la población, considerando que este cultivo, junto con el arroz y el maíz, es fuente de proteína para las familias de más bajos ingresos. Dado que gran parte de los productores de frijol son de pequeña escala, con escasos recursos y rendimiento muy bajo, el impacto de un aumento en la temperatura de entre 1 y 2 °C tendría repercusiones importantes. La segunda especificación incluye la variable de superficie de tierra arable y ambas incluyen población total.

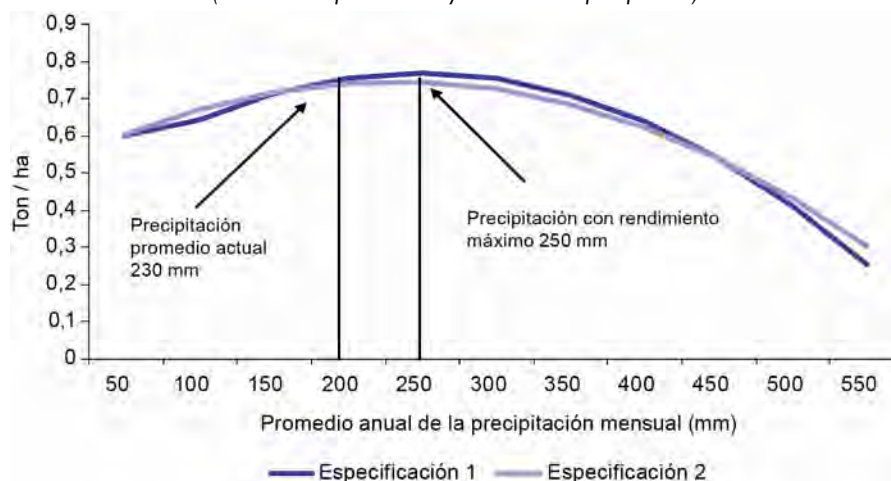
**GRÁFICO 5.13**  
**CENTROAMÉRICA: VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL FRIJOL ANTE VARIACIONES DE TEMPERATURA**  
 (En toneladas por hectárea y grados centígrados)



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 5.14**  
**CENTROAMÉRICA: VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL FRIJOL ANTE**  
**VARIACIONES DE PRECIPITACIÓN**

(En toneladas por hectárea y milímetros de precipitación)



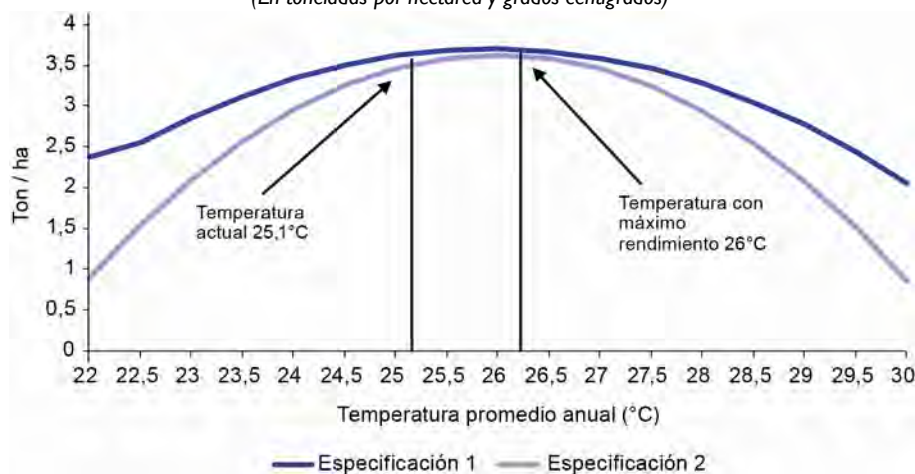
Fuente: Elaboración propia.

## ARROZ

Los resultados de las especificaciones de las funciones de producción para el rendimiento del arroz (véanse los gráficos 5.15 y 5.16) sugieren que la temperatura actual, ejemplificado por el valor de 2005, es compatible con el nivel óptimo de productividad. Dicha productividad se mantendría relativamente estable ante un incremento de la temperatura de hasta 1,5 °C. Un incremento mayor tendría un impacto negativo en el cultivo. Los niveles actuales de precipitación son compatibles con el rendimiento óptimo. Con una disminución de la precipitación del 15% en adelante se reducirían los rendimientos del agregado regional. El cultivo de arroz es identificado por diversas investigaciones como el de mayor riesgo. Se estima que en los Andes y en Centroamérica sufrirá importantes disminuciones. Según las proyecciones del modelo de clima HadCM2, podría disminuir 15% en promedio (Nagy y otros, 2006). La segunda especificación incluye a la población total.

**GRÁFICO 5.15**  
**CENTROAMÉRICA: VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ARROZ ANTE VARIACIONES DE TEMPERATURA**

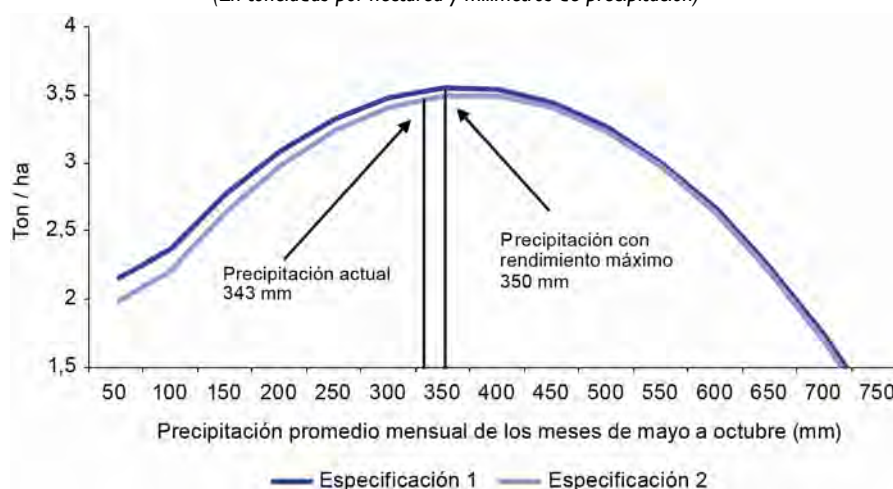
(En toneladas por hectárea y grados centígrados)



Fuente: Elaboración propia.



**GRÁFICO 5.16**  
**CENTROAMÉRICA: VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ARROZ ANTE**  
**VARIACIONES DE PRECIPITACIÓN**  
 (En toneladas por hectárea y milímetros de precipitación)



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis agregado para los cultivos de maíz, frijol y arroz muestran que en las condiciones actuales de producción, con un gran número de productores de pequeña escala, bajos rendimientos y sin acceso al financiamiento, la agricultura es altamente vulnerable al cambio climático, incluso ante cambios moderados de 1,5 °C de temperatura media. Este resultado es compatible con investigaciones a nivel internacional y las proyecciones del IPCC, que esperan una reducción de un tercio de la productividad en las regiones tropicales y subtropicales por el incremento del estrés térmico y la mayor sequedad del suelo. En las regiones tropicales de bajas latitudes y con estación seca, la productividad se reduciría aún con incrementos leves de las temperaturas locales de entre 1 °C a 2 °C.

## 5.5 ESCENARIOS DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA A 2100

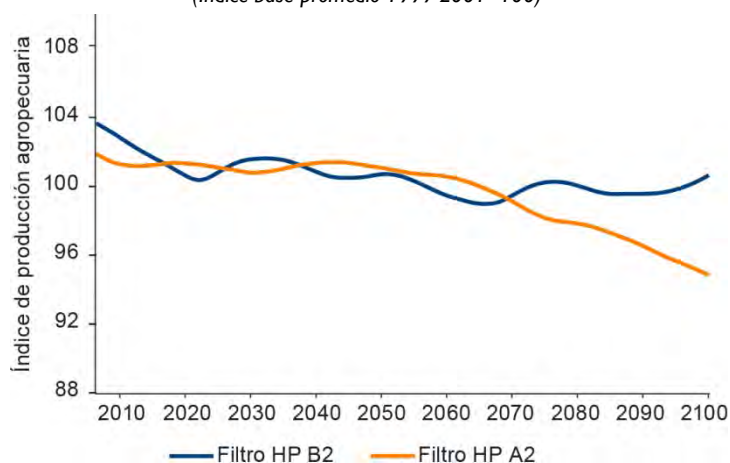
Las funciones de producción establecidas con los datos históricos permiten hacer dos ejercicios hipotéticos adicionales sobre el impacto en los índices de producción o los rendimientos de los escenarios climáticos y sobre los costos marginales de los cambios en temperatura y precipitación. Las funciones de producción permiten calcular los costos que pagaría el productor ante un aumento de temperatura. Esto se hace derivando la productividad o el rendimiento marginal de la temperatura y multiplicando el resultado por el precio de la cosecha. Se supone que después de la temperatura óptima, los productores no estarían dispuestos a cubrir el costo, ya que el rendimiento marginal del cultivo sería negativo. Este análisis se aplica aquí a los índices de producción de cereales, producción pecuaria y producción agrícola con precios de 2000.

Para cuantificar los impactos y los costos agropecuarios futuros por el cambio climático, se utilizaron los escenarios del proyecto con el promedio de los modelos HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM5 para el escenario A2 y el promedio de los modelos HADCM3, GFDL R30 y ECHAM4 para el escenario B2. Se utilizaron la temperatura máxima anual y la precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre en las funciones de producción agropecuaria y agrícola; el índice de producción pecuaria solo se utilizan los escenarios para temperatura máxima, suponiendo constante la



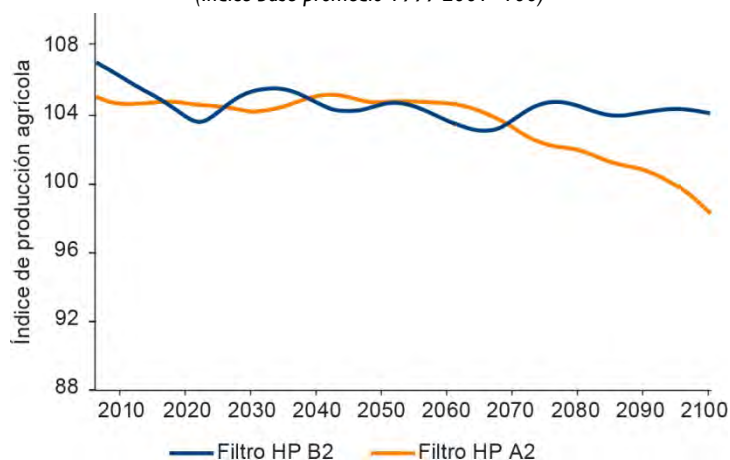
desviación de la precipitación. Los tres índices suponen la inexistencia de cambios tecnológicos y una adaptación nula a los efectos del cambio climático. Los gráficos 5.17 a 5.20 muestran la modelación de los índices de producción agropecuaria, agrícola, cereales y pecuaria de acuerdo al promedio de modelos para los escenarios B2 y A2 con un filtro Hodrick-Prescott (HP). Sin los filtros HP, los análisis presentarían una significativa variabilidad anual. El filtro permite identificar con mayor facilidad la tendencia general de las series futuras.

**GRÁFICO 5.17**  
**CENTROAMÉRICA: LA EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE AGROPECUARIO**  
**CON ESCENARIOS B2 Y A2 (CON FILTRO HODRICK-PRESCOTT), 2006-2100**  
*(Índice base promedio 1999-2001=100)*



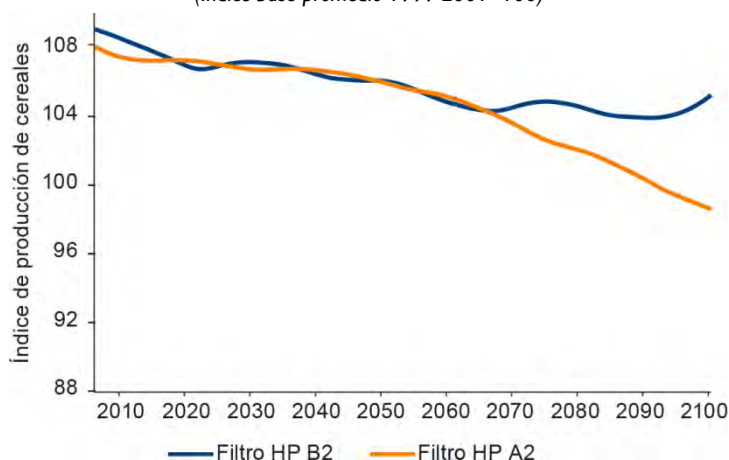
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 5.18**  
**CENTROAMÉRICA: LA EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE AGRÍCOLA**  
**CON ESCENARIOS B2 Y A2 (CON FILTRO HODRICK-PRESCOTT), 2006-2100**  
*(Índice base promedio 1999-2001=100)*



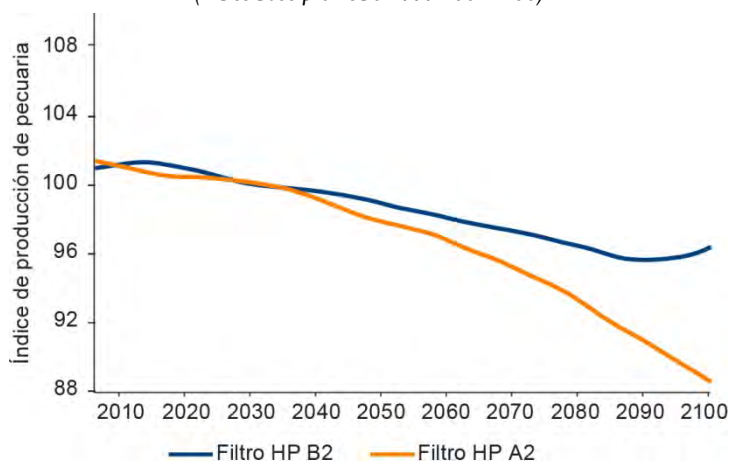
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 5.19**  
**CENTROAMÉRICA: LA EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE CEREALES**  
**CON ESCENARIOS B2 Y A2 (CON FILTRO HODRICK-PRESCOTT), 2006-2100**  
*(Índice base promedio 1999-2001=100)*



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 5.20**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE PECUARIO CON**  
**CAMBIOS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ESCENARIOS B2 Y A2**  
**(CON FILTRO HODRICK-PRESCOTT), 2006-2100**  
*(Índice base promedio 1999-2001=100)*

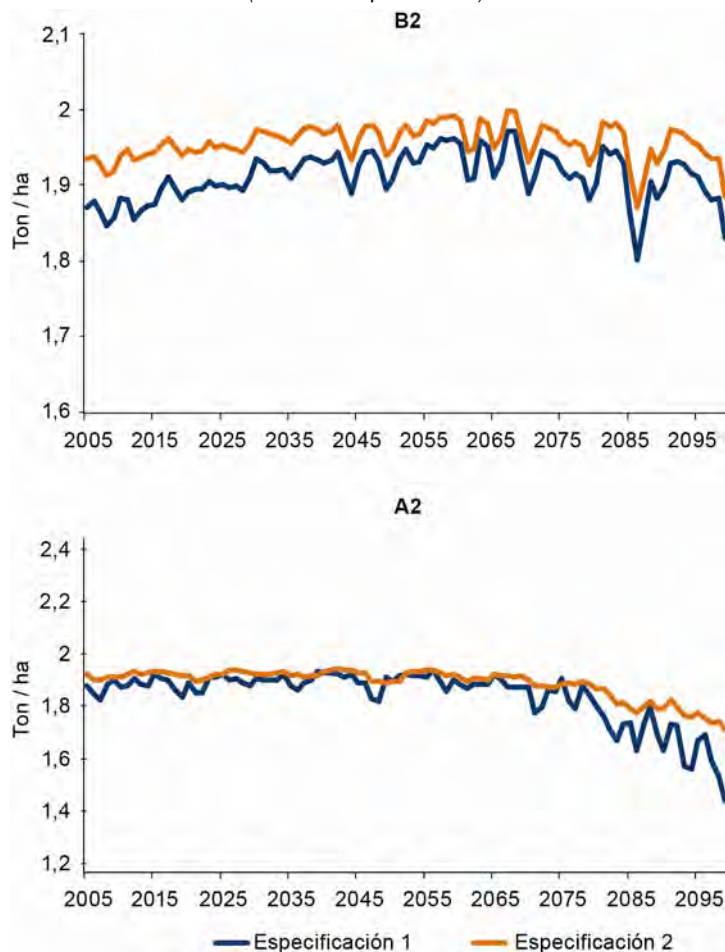


Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican consecuencias negativas en todos los índices, especialmente en el escenario A2 en las últimas décadas del siglo. Por ejemplo, el índice agropecuario se reduce aproximadamente 3% en B2 y 9% en A2 a 2100. El índice de los cultivos se reduce 3% en B2 y 10% en A2, el índice de cereales se reduce 1% en B2 y 10% en A2, mientras que el índice pecuario se reduce aproximadamente 5% en B2 y 13% en A2. Respecto a este último índice, los resultados son indicativos, ya que la relación entre cambios climáticos y niveles de producción pecuaria no está claramente identificada. De hecho, el modelaje no pudo establecer la significancia estadística del efecto de cambios en la precipitación, como ya se explicó.

Los impactos en la producción de maíz, frijol y arroz también fueron analizados. Para el maíz el nivel de temperatura regional óptimo es alrededor de 26,5 °C, adecuado para alcanzar casi dos toneladas por hectárea. Considerando los niveles de temperatura actuales, existe un margen entre 1 °C a 2 °C en que los rendimientos no se ven afectados de manera importante. Pero si la temperatura promedio aumentara más de 2 °C, la productividad del maíz registraría pérdidas. Los resultados en precipitación muestran que el nivel promedio actual es menor que el óptimo. La producción de maíz en el escenario B2 no sufriría mayores impactos hasta finales del siglo. En A2 el rendimiento crecería alrededor del promedio histórico de dos toneladas por hectárea en el corto plazo, pero luego decrecería hasta posiblemente 1,4 toneladas por hectárea cerca del 2100 sin medidas de adaptación (véase el gráfico 5.21). Los análisis de cada país identifican amenazas muy serias al rendimiento del maíz en A2 hacia finales del siglo. En función de las diferentes especificaciones utilizadas, los rendimientos podrían ser nulos en Guatemala, El Salvador y Panamá, si no se tomaran medidas de adaptación.

**GRÁFICO 5.21**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ CON CAMBIO**  
**CLIMÁTICO (ESCENARIOS B2 Y A2), DEL 2006 AL 2100**  
*(En toneladas por hectárea)*

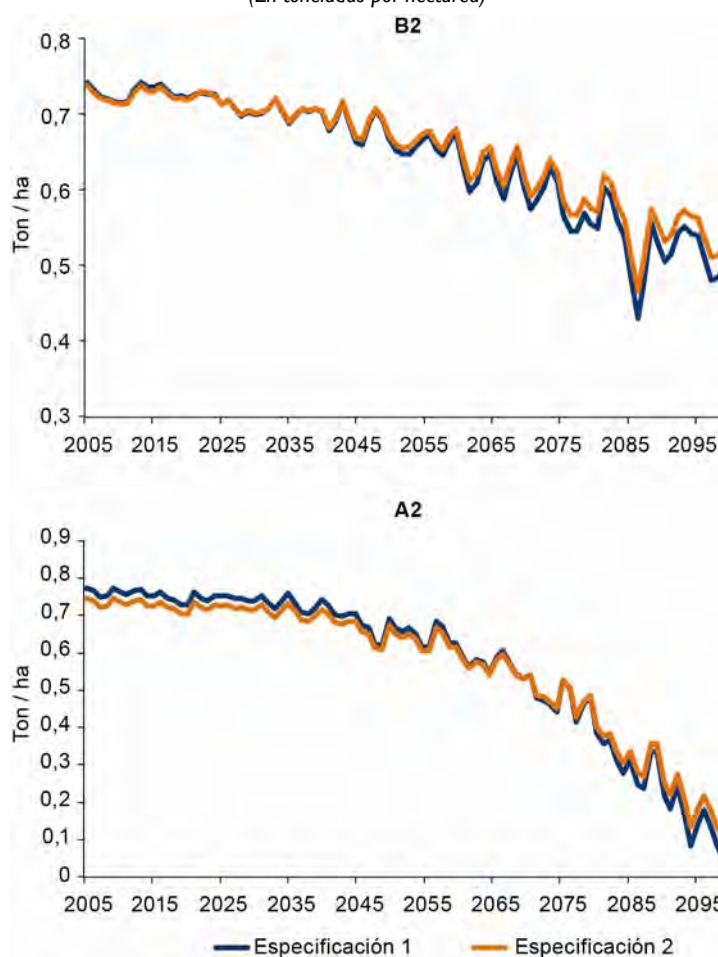


Nota: La especificación 1 incluye temperatura media de noviembre a abril y su cuadrado, el promedio anual de la precipitación mensual y su cuadrado, superficie provista para riego. La especificación 2 incluye población.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los rendimientos del frijol indican que la temperatura media anual ya está en el nivel óptimo de aproximadamente 25 °C. En cuanto a la precipitación, el nivel actual es inferior al del rendimiento máximo. Es probable que mayores aumentos de temperatura y reducciones o variabilidad en precipitación afecten seriamente la producción. En los escenarios B2 y A2, el rendimiento sufre reducciones sustanciales, pasando de más de 0,7 a 0,5 toneladas por hectárea en B2 y a menos a 0,1 toneladas por hectárea en A2 al 2100 sin medidas de adaptación. Los análisis por país identifican amenazas muy serias al rendimiento del frijol en A2 hacia finales del siglo. En función de las diferentes especificaciones utilizadas, los rendimientos podrían ser nulos en Guatemala y El Salvador si no se tomaran medidas de adaptación. En Belice los rendimientos de frijol se mantienen mejores que los de maíz en B2, pero caen a 0,2 toneladas por hectárea en A2 a final del siglo. Considerando que gran parte de los productores de frijol son pequeños, tienen escasos recursos y rendimiento muy bajo, el impacto de un aumento en la temperatura de entre 1 °C y 2 °C tendría repercusiones importantes en toda la región, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de significativos segmentos de población (véase el gráfico 5.22).

**GRÁFICO 5.22**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE FRIJOL CON CAMBIO**  
**CLIMÁTICO (ESCENARIOS B2 Y A2), DEL 2006 AL 2100**  
*(En toneladas por hectárea)*

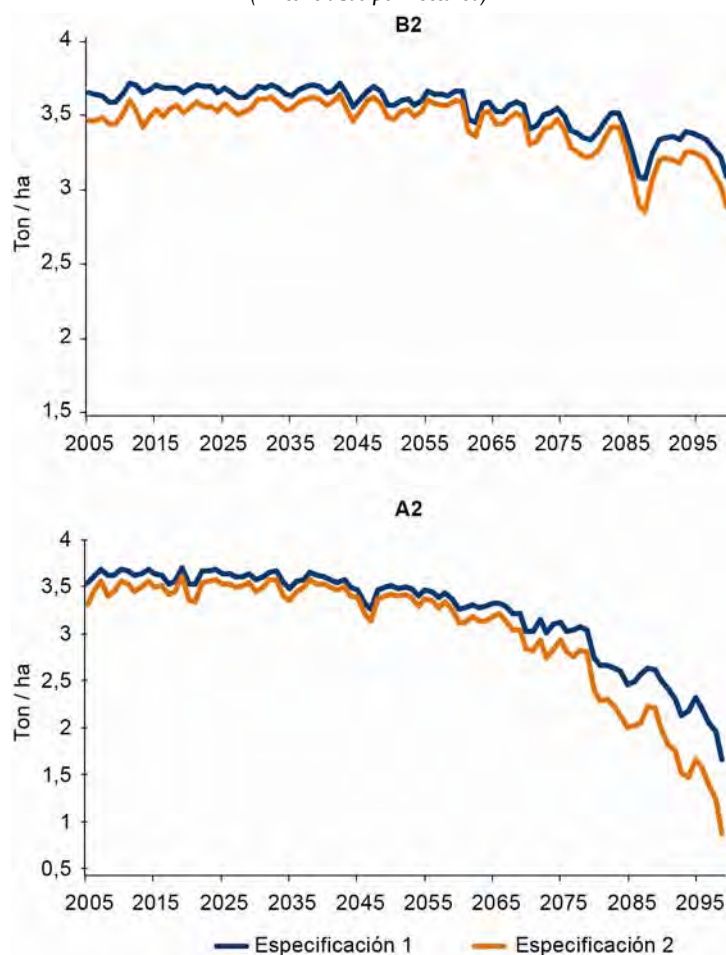


Nota: La especificación 1 incluye temperatura media anual y su cuadrado, el promedio anual de la precipitación mensual y su cuadrado, superficie de riego y población. La especificación 2 incluye superficie de tierra arable.

Fuente: Elaboración propia

La temperatura media anual de la región es compatible con el nivel óptimo de productividad del arroz, la cual se mantendría relativamente estable ante un incremento de la temperatura de hasta 1,5 °C. Un incremento mayor tendría impacto negativo. El promedio regional de la precipitación promedio actual de mayo a octubre es compatible con el rendimiento óptimo, pero éste se reduciría con una disminución del 15% en delante de la precipitación. En los escenarios a 2100, la producción tendería a caer del promedio histórico de 3,5 toneladas por hectárea a entre 2 y 1 toneladas por hectárea en A2 sin medidas de adaptación. En Panamá el rendimiento de arroz en A2 podría bajar a cerca de nulo en las últimas décadas del siglo si no hay medidas de adaptación (véase el gráfico 5.23).

**GRÁFICO 5.23**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE ARROZ CON CAMBIO**  
**CLIMÁTICO (ESCENARIOS B2 Y A2), DEL 2006 AL 2100**  
*(En toneladas por hectárea)*



Nota: La especificación 1 incluye temperatura media anual y su cuadrado, precipitación promedio mensual de mayo a octubre y su cuadrado, superficie de riego. La especificación 2 incluye población.

Fuente: Elaboración propia.



## 5.6 ESTIMADO INICIAL DE COSTOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

Sobre la base de las funciones de producción agropecuaria, se estimó el costo del impacto de un aumento de la temperatura y cambios de la precipitación, asumiendo un valor máximo de rendimiento/producción asociado a niveles óptimos de las variables climáticas. Una modificación que se aleje del nivel óptimo implica una disminución en rendimiento/producción. Con este enfoque se analizan los costos de los índices de producción de cereales, agrícola, pecuario y agropecuario con precios del 2000 bajo los escenarios B2 y A2 y el promedio de los modelos ECHAM4/ECHAM5, GDFL2.0/GFDLR30 y HADCM3/HADGEM. Se usaron los precios de los productos agrícolas por tonelada y los precios de carne en canal por tonelada de cuatro especies: bovino, caprino, ovino y porcino al 2000 (véanse los cuadros 5.2 a 5.9).

Los valores obtenidos son agregados para toda la región, así que a nivel país se pueden presentar diferencias importantes y, por lo tanto, algunos países tendrán mayores ventajas o desventajas que otros. Si bien esta metodología se utiliza ampliamente en la producción de cultivos, existen reservas sobre su aplicación al caso pecuario, pues no existe evidencia sólida de una asociación medible con las variables climáticas. En el modelaje se estableció significancia estadística con temperatura, no así con precipitación. Así, los valores resultantes fueron calculados a valor presente neto a distintas tasas de descuento como proporción del PIB total de Centroamérica en el 2008 (una mayor explicación de la metodología se presenta en el cap. 10).

**CUADRO 5.2**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIO B2) EN LA PRODUCCIÓN DE CEREALES, 2008 A 2100**  
(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)

Años	Tasa de descuento			
	0,50%	2%	4%	8%
2020	0,05	0,04	0,03	0,02
2030	0,21	0,17	0,13	0,08
2050	0,53	0,36	0,23	0,11
2070	1,03	0,59	0,32	0,12
2100	1,77	0,83	0,37	0,12

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 5.3**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIO A2) EN LA PRODUCCIÓN DE CEREALES, 2008 A 2100**  
(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)

Años	Tasa de descuento			
	0,50%	2%	4%	8%
2020	0,17	0,16	0,14	0,12
2030	0,32	0,27	0,22	0,16
2050	0,61	0,44	0,31	0,19
2070	1,11	0,67	0,40	0,20
2100	2,44	1,09	0,49	0,20

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 5.4**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO**  
**DEL CAMBIO CLIMÁTICO (SOLO CAMBIO EN LA TEMPERATURA MÁXIMA)**  
**(ESCENARIO B2 EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA, 2008 A 2100)**

*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Años	Tasa de descuento			
	0,50%	2%	4%	8%
2020	0,24	0,22	0,20	0,16
2030	0,63	0,51	0,40	0,26
2050	1,82	1,24	0,79	0,38
2070	3,69	2,10	1,10	0,43
2100	7,33	3,26	1,37	0,44

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 5.5**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO**  
**DEL CAMBIO CLIMÁTICO (SOLO CAMBIO EN LA TEMPERATURA MÁXIMA)**  
**(ESCENARIO A2) EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA, 2008 A 2100**

*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Años	Tasa de descuento			
	0,50%	2%	4%	8%
2020	0,42	0,37	0,32	0,24
2030	0,80	0,66	0,52	0,35
2050	2,27	1,56	0,99	0,49
2070	4,83	2,73	1,42	0,55
2100	11,30	4,75	1,87	0,57

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 5.6**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL**  
**CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIO B2) EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA, 2008 A 2100**

*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Años	Tasa de descuento			
	0,50%	2%	4%	8%
2020	0,24	0,22	0,19	0,14
2030	1,60	1,31	1,01	0,61
2050	3,00	2,15	1,45	0,74
2070	5,17	3,13	1,79	0,79
2100	7,30	3,80	1,94	0,80

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 5.7**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL**  
**CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIO A2) EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA, 2008 A 2100**

*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Años	Tasa de descuento			
	0,50%	2%	4%	8%
2020	1,28	1,20	1,11	0,97
2030	2,48	2,11	1,75	1,22
2050	3,70	2,86	2,14	1,41
2070	5,18	3,53	2,39	1,45
2100	11,13	5,40	2,80	1,47

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 5.8**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL**  
**CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIO B2) EN EL SECTOR AGROPECUARIO, 2008 A 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Años	Tasa de descuento			
	0,50%	2%	4%	8%
2020	0,30	0,26	0,21	0,12
2030	2,16	1,75	1,32	0,76
2050	4,73	3,32	2,15	1,01
2070	8,92	5,21	2,83	1,11
2100	13,70	6,73	3,18	1,13

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 5.9**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL**  
**CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIO A2) EN EL SECTOR AGROPECUARIO, 2008 A 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Años	Tasa de descuento			
	0,50%	2%	4%	8%
2020	1,84	1,72	1,59	1,38
2030	3,45	2,94	2,44	1,81
2050	5,36	4,12	3,07	2,00
2070	8,50	5,55	3,58	2,07
2100	18,53	8,70	4,29	2,11

Fuente: Elaboración propia.

Los costos del cambio climático para la producción regional de cereales podrían ubicarse en un rango del 1,8% al 2,4% del PIB del 2008 a valor presente neto (VPN) hacia el 2100 con B2 y A2, respectivamente, con una tasa de descuento del 0,5%. Con esta tasa, los costos en la producción pecuaria (solamente con impacto de temperatura), serían entre 7,3% y 11,3% del PIB y la actividad agrícola se vería afectada en una magnitud equivalente del 7,3% hasta 11,1% del PIB con el B2 y el A2, respectivamente. El costo para todo el sector agropecuario regional a 2100 podría ser de 13,7% a 18,5% del PIB del 2008 a VPN con tasa de descuento del 0,5%, respectivamente, en los dos escenarios. Con una tasa de descuento mayor, el valor relativo se reduce. En todos los casos, el costo asociado al escenario A2 es mayor que el asociado a B2.

En un análisis regional con el modelo Ricardiano, las ganancias agrícolas se verían reducidas. Con aumento de un grado de temperatura media anual el ingreso por concepto de valor de la propiedad se reduciría en la mayoría de los países. El decremento se agudizaría en los deciles de ingresos más bajos de los hogares rurales. Para los primeros ocho deciles se estiman caídas importantes del valor de la propiedad, con cierta dispersión por regiones de cada país. Como resultado de los cambios en la producción agropecuaria, en caso de no tomarse medidas, las pérdidas acumuladas resultarían significativas con respecto a los PIB nacionales de los años recientes (véase Ramírez, Ordaz y Mora, 2010; para los análisis de las funciones de producción y el modelo ricardiano por país véanse Ramírez, Ordaz, Mora, Acosta y Serna, 2010a y 2010b; Ordaz, Ramírez, Mora, Acosta y Serna, 2010a; 2010b y 2010c; Mora, Ramírez, Ordaz, Acosta y Serna, 2010a y 2010b).

Los efectos en la producción de alimentos procesados, en la economía familiar de pequeños productores y trabajadores agrícolas, en el sector de manufacturas y en la importación de productos agropecuarios, significarían un aumento de costos considerable para la región en conjunto.

## 5.7 CONSIDERACIONES FINALES

1. Considerando los escenarios de cambio climático, en los que se espera un aumento de la temperatura y una disminución o una mayor variación de la precipitación, los efectos netos de largo plazo serán negativos para el sector agropecuario de Centroamérica. Los efectos negativos aumentarán con el avance del siglo, especialmente en el escenario A2, donde las emisiones de GEI continúan incrementándose sin estabilizarse. Existen importantes variaciones por país y por cultivos.
2. Los resultados de los ejercicios empíricos a nivel regional indican que el cambio climático traería efectos adversos sobre los rendimientos, que se traducirían en pérdidas económicas importantes en algunos casos. El cultivo de maíz muestra cierto margen de tolerancia a incrementos de la temperatura, cuyos efectos negativos podrían ser compensados con un uso más eficiente del agua. Esta solución, no obstante, será probablemente inviable a mediano plazo. La producción del frijol muestra ya signos de riesgos que serán mucho más graves en un escenario de cambio climático. Este cultivo es el que tendría las mayores pérdidas económicas, seguido por el arroz. La productividad del arroz se mantiene en niveles óptimos en relación con la temperatura y la precipitación. Por ende, hay cierto margen de tolerancia a incrementos de temperatura de hasta 1,5 °C. Por arriba de este nivel, la producción estaría en riesgo. Estos resultados iniciales hacen evidente la necesidad de compensar las probables pérdidas en producción con irrigación hasta donde sea posible, uso de variedades más resistentes a mayores temperaturas y variaciones de precipitación y tecnologías alternas.
3. La agricultura de Centroamérica, caracterizada por bajos niveles de productividad y de capitalización, así como por una enorme heterogeneidad en las unidades productoras, es altamente vulnerable a los cambios de la temperatura media, incluso en escenarios de cambios moderados de entre 1,5 °C a 2 °C. El costo para el conjunto del sector agropecuario al 2100 podría ser del 14% al 19% del PIB de 2008 a VPN con una tasa de descuento del 0,5% en los escenarios B2 y A2, respectivamente. Con una tasa de descuento mayor, este valor se reduce. El costo para la producción agropecuaria en el escenario A2 es mayor que el del B2 y refuerza la importancia de lograr una reducción global de emisiones.
4. Los costos caerán tanto en la producción agrícola como la pecuaria y crecerán en el tiempo, con importantes efectos indirectos para las economías de la región. Considerando la relación con otros sectores de la economía, los efectos en la producción de alimentos procesados, en la economía familiar de pequeños productores y trabajadores agrícolas, en el sector de manufacturas y el aumento de la importación de productos agropecuarios se traducirían en un aumento de costos aun no estimados pero considerables para la región en conjunto.
5. Según los análisis con el modelo Ricardiano, las ganancias agrícolas se verían reducidas. Ante el incremento de un grado de temperatura media anual habría reducciones en el ingreso por concepto de valor de la propiedad en la mayoría de los países centroamericanos. Este decremento se agudizaría en los primeros ocho deciles de ingresos más bajos de los hogares rurales donde habría caídas importantes del valor de la propiedad. Estos efectos muestran una dispersión considerable en las regiones de cada país. Como resultado de los cambios en la producción agropecuaria, en caso de no tomarse medidas, las pérdidas acumuladas resultarían significativas con respecto a los PIB nacionales de los años recientes.
6. Más allá de la estimación inicial de impacto económico que estos análisis arrojan, está el hecho de que el maíz, el frijol y el arroz son fundamentales en la provisión de calorías y

proteínas de grandes sectores de la población centroamericana. Según el país y el grano, existe una importante producción de autoconsumo de pequeños agricultores de bajos ingresos. El efecto del cambio climático sobre las actividades agropecuarias tendrá un impacto significativo en la seguridad alimentaria al reducir la producción de alimentos y el acceso directo a ellos por los productores rurales, más un aumento de los precios y/o escasez para los consumidores, dependiendo de las posibilidades de importaciones compensatorias. Las implicaciones, entonces, son serias para la seguridad alimentaria y la pobreza y habrá que ampliar el análisis al respecto.

7. Los resultados iniciales aquí mostrados son consistentes y evidencian la necesidad de actuar oportunamente con mecanismos que impidan que las pérdidas del sector alcancen las magnitudes aquí estimadas. Es importante abogar por un acuerdo global de reducciones de emisiones resultando en la estabilización y la posterior reducción de la concentración de los GEI, alejando así la trayectoria del escenario A2 y acercándose a una trayectoria menor. Es fundamental tomar medidas de adaptación a nivel local, nacional y regional, sin esperar a que haya un acuerdo global.
8. Los mecanismos de adaptación permitirán contener en cierta medida los impactos del cambio climático, aunque algunos serían inevitables, particularmente en el escenario A2. Por ello será importante fomentar la investigación y aprovechar las prácticas y las tecnologías utilizadas tanto en Centroamérica como en otros países para que los cultivos y los productores puedan adaptarse a climas más cálidos con mayor variabilidad de precipitación. Así, es importante que las medidas se tomen con rapidez y eficiencia. De lo contrario se tendrán costos económicos y sociales importantes, los cuales tendrán mayor peso en los grupos de menores ingresos.
9. En la mayoría de los países ha habido descapitalización del medio rural, dismantelamiento de programas de extensión y poca inversión en fortalecimiento de las capacidades de la población y en desarrollo de infraestructura rurales en las últimas décadas. Con honrosas excepciones, hace falta mucha mayor atención a la protección y fomento de variedades nativas y otras capacidades tecnológicas locales, autóctonas y nacionales, las cuales son fuente de resiliencia y adaptación al cambio climático no suficientemente apreciadas.
10. La respuesta agrícola al cambio climático requerirá una estrecha coordinación de políticas para reducir la deforestación, proteger la biodiversidad y gestionar los recursos hídricos. Habrá que reconocer y considerar el potencial de expansión de experiencias en la región para fortalecer el bienestar de poblaciones rurales e indígenas con procesos productivos más sostenibles, como la agroforestería y la combinación de actividades agrícolas con las de protección de ecosistemas naturales y pago por servicios ambientales. Esfuerzos para aumentar el acceso de poblaciones rurales dispersas a fuentes de energía renovables como la solar y presas hidroeléctricas de menor escala, como las propuestas en La Estrategia Energética Sustentable Centroamericana 2020, también son claves. En general, el ámbito rural, con sus recursos naturales y productivos, será fundamental para el éxito de una respuesta al cambio climático.
11. Es importante subrayar que los resultados y escenarios aquí presentados deben de interpretarse como estimados iniciales de las tendencias futuras, no como cifras exactas. Existen costos no contabilizados y hay costos indirectos por analizar en otros sectores. Como ya se indicó, los análisis prospectivos que combinan escenarios climáticos, macroeconómicos y productivos tienen una serie de incertidumbres que deben tomarse en cuenta.



## 6. BIODIVERSIDAD EN CENTROAMÉRICA Y EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

### 6.1 INTRODUCCIÓN

Los países de Centroamérica, cuyo territorio tiene gran diversidad geológica, geográfica, climática y biótica, contienen el 7% de la biodiversidad del planeta (INBio, 2004). Además de la deforestación, la contaminación del agua y el suelo y la sobreexplotación de especies silvestres, el cambio climático emerge como un gran riesgo para la biodiversidad al modificar patrones de precipitación, aumentar la temperatura y provocar eventos extremos más destructivos y frecuentes. El objetivo de este capítulo es reportar sobre los posibles impactos de este fenómeno en la biodiversidad terrestre de la región y en los costos económicos asociados.

La biodiversidad se define como la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos los ecosistemas terrestres y marinos, otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y entre los ecosistemas (PNUMA, 1992). Las sociedades se benefician de la biodiversidad por su colaboración en la producción de bienes y servicios ecosistémicos para las generaciones presentes y futuras. Sin embargo, la degradación y agotamiento de los recursos biológicos es creciente en todo el mundo. Un incremento de 1 °C en la temperatura superficial del planeta pone en riesgo de extinción a 10% de las especies. Con 3 °C de aumento se verían amenazadas entre el 20% y el 50% (Stern, 2007).

### 6.2 IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA BIODIVERSIDAD DE LA REGIÓN

Hay gran cantidad de evidencia de los impactos negativos del cambio climático sobre la biodiversidad (Hughes, 2000; Root y otros, 2003; T. E. Lovejoy y L. J. Hannah, 2005; IPCC, 2007c; Parmesan, 2006). Se han identificado cambios de tamaño y distribución de las poblaciones, de sus rangos geográficos y su fenología, los cuales ocasionan desacoplamiento de las interacciones entre las especies, que se acentúa en la interacción de flora y fauna y provoca cambios en los procesos de evolución y aptitud por la disminución de nutrientes y otros recursos, hasta la extinción de especies. El cuadro 6.1 presenta un resumen de la evidencia disponible de los impactos del cambio climático en los ecosistemas globales, asociados a diferentes niveles de incremento de temperatura. Se observa que los impactos cobran mayores dimensiones conforme el incremento de temperatura es mayor.

**CUADRO 6.1.**  
**IMPACTOS NEGATIVOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ECOSISTEMAS GLOBALES**

Aumento de la temperatura sobre la era pre-industrial	Efecto en los ecosistemas
0,5 – 1,5 °C	Aumento de extinciones de anfibios en las montañas. Incremento del blanqueamiento en la barrera coralina. Extinciones de anfibios/riesgos de extinciones en las montañas por enfermedades inducidas por el cambio climático. Mayor daño en los ecosistemas polares. Pérdida del 8% del hábitat de peces de agua dulce en América del Norte.
1,5 – 2,5 °C	Peligro de extinción del 9% al 31 % de las especies. Blanqueamiento de todas las barreras coralinas. Pérdida del 47% de la selva en Queensland. Pérdida del 41% al 51 % de <i>fynbos</i> y del 13% al 80% de fauna en Sudáfrica. Gran pérdida de la selva del Amazonas y de su biodiversidad.
2,5 – 3,5 °C	Transformación del 16% de los ecosistemas globales. Alto riesgo de extinción del oso polar. Riesgo de que la biosfera terrestre sea fuente neta de carbono 50 % de pérdida de tundra. Extinción del 21% al 52% de las especies del planeta. Extinción de corales. Acumulación excesiva de algas en arrecifes.
3,5 – 4,5 °C	Extinción del 14% al 40 % de las especies endémicas en puntos calientes de biodiversidad. Dificultad de adaptación de los ecosistemas. 50 % de las reservas naturales no cumplirían sus objetivos. Extinción de 200 a 300 especies de plantas alpinas en Nueva Zelanda. A más de 4° C, extinciones masivas de especies en todo el mundo.

Fuente: Elaboración propia con datos del IPCC, 2007c.

En la región centroamericana hay fuertes presiones que inciden en la pérdida de biodiversidad. Las mayores son la deforestación, la contaminación de agua y suelo y la sobreexplotación de especies silvestres. La deforestación y la degradación del suelo están asociadas a la extensión de la agricultura, la explotación de madera, la construcción de caminos, los asentamientos humanos, la ganadería, la explotación de leña y el turismo.

Los impactos identificados del cambio climático en la biodiversidad de la región son múltiples, de magnitudes diversas e impactos geográficos diferenciados (véase el cuadro 6.2). En términos agregados se observan tendencias a la sustitución de los ecosistemas húmedos por ecosistemas secos, de la vegetación hidrófila por no hidrófila en los humedales, de desplazamiento del bosque pluvial montano, montano bajo y premontano, cambios en el páramo pluvial subalpino y el bosque tropical muy húmedo, así como aparición del bosque tropical muy seco y del bosque premontano seco.

Todo esto incide en el comportamiento de las especies de anfibios y aves, cuya reproducción está disminuyendo. Se ha encontrado que los árboles están creciendo menos y produciendo más dióxido de carbono (aumento de la respiración) por el aumento de la temperatura, lo que altera el proceso de fotosíntesis. Los escenarios previsibles sugieren pérdida de hábitat como resultado de una mayor ocurrencia de incendios forestales, de sequías e inundaciones y de cambios sedimentarios en tierras bajas. En consecuencia, las especies invasoras y los nuevos vectores de enfermedades podrían propagarse. Se espera un mayor número e intensidad de tormentas tropicales, inundaciones, deslizamientos, erosión y vientos fuertes que afectarán los ecosistemas.

Los impactos aumentarán en los próximos cien años, si bien resultan impredecibles en buena medida todavía porque el ritmo e intensidad de los cambios climáticos previstos rebasarían los rangos naturales conocidos (M. V. Bush, Silman y Urrego, 2004; Overpeck y otros, 2006).

**CUADRO 6.2**  
**CENTROAMÉRICA: REVISIÓN DE LITERATURA DE IMPACTOS ESPERADOS**  
**DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA BIODIVERSIDAD**

	Impactos	Región-País	Referencias
Impactos en humedales y zonas costeras	Aumento de ciclones tropicales en el Atlántico y golfo de México, aceleración de la pérdida de la línea costera y los humedales en la costa oriental de América del Norte, Centroamérica y América del Sur.	América	Burkett y otros (2005)
	Cambio en la composición y distribución de la vegetación de humedales, afectación de las poblaciones de peces, reptiles y anfibios. La vegetación no hidrófila podría invadir y transformar los humedales. Afectación de los procesos biológicos de las plantas y animales.	Centroamérica	Rojas y otros (2003)
	Cambios drásticos en manglares y algunos estuarios.	Centroamérica	Campos, M. (s/f)
	Estancamiento de aguas costeras, aumento del nivel freático, mayor vulnerabilidad sísmica de áreas costeras propensas a licuefacción.	Centroamérica	Campos, M. (s/f)
	Salinización de mantos acuíferos costeros, trastorno del abastecimiento del agua potable y efectos negativos en turismo.	Centroamérica	Campos, M. (s/f)
	Impactos en zonas de baja altitud, como el estuario La Plata, ciudades costeras, morfología de la costa, arrecifes de coral, manglares, localización de poblaciones de peces, disponibilidad de agua potable y turismo por el aumento del nivel del mar y los fenómenos extremos.	Centroamérica	IPCC (2007c y 2007d)
Impactos en las especies de la región	El aumento de la temperatura media global elevará el nivel de los océanos entre 30 cm (escenario optimista) y 1,0 m (escenario pesimista) en los próximos 100 años. Los tipos de costa predominantes en la región, playas en el frente de llanuras aluviales y marismas, son los más vulnerables en un escenario optimista. El ascenso implica una transgresión (retroceso) de la línea ribereña hacia una nueva posición de equilibrio, escenario pesimista que implica una ampliación de las áreas sujetas a inundación mareal.	Costa Rica	MINAET y otros (1999)
	Disminución de poblaciones de anfibios por cambios en su reproducción y disminución de periodos de alimentación por incremento de los depredadores.	Neotrópico	Donnelly y Crump (1998)
	Extinción de 20% de las especies de pájaros Manakin, cuya distribución disminuirá y se fragmentará, sobre todo en las tierras bajas.	Neotrópico	Anchiaes y A. T. Peterson, (2006)
	Cambios en la abundancia de poblaciones y en la diversidad biológica de los ecosistemas costeros.	Centroamérica	Campos, M. (s/f)
	Amenaza de especies por pérdida de hábitat y plantas invasoras.	Centroamérica	Anderson y otros (2008)
	La sinergia de un rápido aumento de la temperatura y otros factores de estrés, en particular, la destrucción de hábitats, podrían interrumpir la interdependencia de las especies y modificar sus comunidades en forma diferenciada, hasta la extinción de algunas especies.	Centroamérica	Root y otros (2003)
	Impactos en las plantaciones forestales de Pinus patula y Pinus Tecunumanii.	Centroamérica	Van Zonneveld y otros (2009)
	Disminución de la población de anfibios (sapo dorado y rana arlequín) de la Reserva del bosque nuboso de Monteverde.	Costa Rica	Pounds y Crump (1994), Pounds y otros (2006) J. A. Pounds, (1999)
	La distribución, abundancia, conducta, tamaño y ciclo de vida de especies de colibríes están cambiando por la variabilidad climática (temperatura, nubosidad, precipitación), que afecta al néctar, la producción de flores y la polinización.	Costa Rica	Deliso (2007)
	Posibles cambios en la distribución espacial y temporal de las especies de colibríes y plantas, así como un cambio en la abundancia relativa de especies de colibríes en Monteverde.	Costa Rica	Deliso (2007)
	Las tierras bajas tropicales experimentarán una reducción de especies, cambiando a comunidades de plantas tolerantes al calor.	Costa Rica	Williams, Jackson y Kutzbach, (2007)

(Continúa)

(Continuación Cuadro 6.2)

Impactos en los ecosistemas de la región	Los árboles están creciendo menos y produciendo más dióxido de carbono (aumento de la respiración) por el aumento de la temperatura, que dificulta el proceso de fotosíntesis.	Costa Rica	Clark (2004)
	El calentamiento ha provocado cambios en la distribución y abundancia de especies en los bosques altos Monteverde. El aumento de la temperatura del aire ha disminuido las poblaciones de 20 especies de ranas y sapos de un total de 50.	Costa Rica	J. A. Pounds, Fogden y Campbell (1999)
	En la Cordillera, un incremento en la elevación de los rangos superiores de aves en la vertiente del Pacífico, y falta de niebla en la estación seca en el borde de sotavento del bosque nuboso de Monteverde. Estos cambios se han atribuido a un aumento en la altura de la base del banco de nubes orográficas. La frecuencia de los períodos libres de niebla en la estación seca se relaciona con el aumento de la temperatura superficial del Océano Pacífico.	Costa Rica	Lawton y otros (2001)
	Cambios demográficos en las comunidades de aves, reptiles y anfibios de los Bosques Altos Monteverde, asociados a los patrones de frecuencia de niebla en la estación seca, correlacionados con la temperatura superficial del Océano Pacífico de la zona ecuatorial.	Costa Rica	J. A. Pounds, Fogden y Campbell (1999)
	Las especies del bosque tropical muy húmedo se verán obligadas a adaptarse o a desplazarse.	Costa Rica	MINAET y otros (1999)
	Disminución sistemática de las poblaciones de anfibios terrestres en la Estación Biológica La Selva en las tierras bajas de Centroamérica.	Costa Rica	Whitfield y otros (2007)
	Disminución de aves (1/2 de 77 especies), la mayoría de las cuales son especies endémicas. Siete de las ocho especies de las tierras altas de Costa Rica y Panamá son endémicas.	Costa Rica , Panamá	Gasner y otros (2010)
	Disminución sistemática de las poblaciones de anfibios terrestres en la Estación Biológica La Selva en las tierras bajas de Centroamérica.	Costa Rica	Whitfield y otros (2007)
	Cambios en las tasas de crecimiento de 24% a 71% de las especies de árboles en la Isla Barro Colorado, Panamá, asociados a cambios de la precipitación anual y de la media de insolación relativa.	Panamá	Feeley y otros (2007)
	Plagas y enfermedades forestales por el cambio del clima en América Latina.	América Latina	EFE (2010)
	Aumento de la contaminación de los ecosistemas acuáticos en general por disminución de los flujos base con implicaciones para el paisaje y la salud pública.	Centroamérica	Campos, M. (s/f)
	Impactos críticos en Centroamérica: decoloración de los corales, erosión costera, intrusión de agua salada, pérdida de hábitats, mayor incidencia de incendios forestales e inundaciones, con consecuencias en la distribución geográfica de las especies, propagación de especies invasoras y nuevos vectores de enfermedades.	Centroamérica	Giroto (2008)
	Pérdida significativa de hábitat y extinción de especies en muchas áreas tropicales de América Latina, incluidos los bosques tropicales, por temperaturas más altas y pérdida de aguas subterráneas, con efectos sobre las comunidades indígenas.	Centroamérica	IPCC (2007c y 2007d)
	La deforestación tropical y los cambios de uso de suelo tropical continúan. Esto contribuye a la emisión de Gases a Efecto Invernadero (GEI), a la reducción de la capacidad de los bosques para regular los climas y al aumento del riesgo de numerosas especies de bosques lluviosos tropicales.	Centroamérica	Davis (2008)
	Para 2080 casi todos los ecosistemas y especies estarán fuera de su zona de confort, lo que puede implicar migración latitudinal de algunas especies.	Centroamérica	Anderson y otros (2008)
	Alteración de la cobertura nubosa a nivel de la vegetación que modificará los ecosistemas de montaña.	Costa Rica	Karmalkar, Bradley y Diaz (2008)
	Cambios en la distribución de las zonas de vida de los bosques tropicales.	Costa Rica	Enquist (2002)
	Para el 2080 se prevén cambios en el número y zonas de vida respecto a las zonas de vida actual por el desplazamiento de los bosques pluvial montano, montano bajo y premontano, del páramo pluvial subalpino, del bosque tropical muy húmedo, de la aparición del bosque tropical muy seco y del bosque seco premontano.	Costa Rica	Jiménez (2009)
	Alteración de los climas tropicales de montaña por las crecientes temperaturas de la superficie del mar.	Costa Rica	J. A. Pounds, Fogden y Campbell (1999)

(Continúa)

(Conclusión Cuadro 6.2)

Impactos en los ecosistemas de la región	Disminución de los pisos Tropical y Montano y aumento del piso premontano en las zonas de vida. Las zonas de vida de bosques pluviales en los cuatro pisos también disminuyen. Disminuirán los bosques secos, húmedos y muy húmedos tropicales y los bosques húmedos y muy húmedos premontanos.	Costa Rica	MINAET y otros (1999)
	El cambio climático alterará los regímenes locales de precipitación y evaporación. Los recursos hídricos se volverán más vulnerables por disminución de la precipitación. Las reservas de agua dulce almacenada, principalmente en la capa freática, mermarán, provocando sequías e inundaciones. La reducción del suministro de agua presionará con mayor fuerza a la población, la agricultura y el medio ambiente. La lixiviación y la absorción de agua salada por las reservas de agua freática impedirán usar las capas subterráneas para usos domésticos y agrícolas.	El Salvador	MARN (2000a)
	Las variaciones de temperatura, de los patrones de precipitación y la mayor intensidad y frecuencias de eventos extremos pueden provocar alternaciones en la cobertura vegetal de la biomasa.	El Salvador	Cigarán, Gutiérrez y Gallo (2009)
	Cambios hidrológicos en los sedimentos de las tierras bajas de la región neotropical y en el lago Petén en los distintos períodos de cambio climático.	Guatemala	Hodell y otros (2008)
	En una simulación de tres escenarios hasta al año 2100 en Nicaragua, aproximadamente un 72% del territorio nacional experimentaría cambios en sus zonas de vida.	Nicaragua	MARN (2001)

Fuente: Elaboración propia con base en documentos citados.

6.3 ÍNDICE DE BIODIVERSIDAD POTENCIAL (IBP)

La biodiversidad puede entenderse como la suma o variabilidad de especies, ecosistemas y diversidad genética en el mundo (L. Hannah y otros, 2002; Núñez, Grosjean y Cartajena, 2001). Las magnitudes de biodiversidad se calculan normalmente con alguna función de diversidad (Solow, Broadus y Polasky, 1993; Weitzman, 1992) en términos de la distancia genética entre especies, para lo cual se utilizan diversos índices de la riqueza o número de especies y la uniformidad de su distribución por área (Brock y Xepapadeas, 2003).

El estudio “Impactos potenciales del cambio climático en la biodiversidad de Centroamérica, México y República Dominicana” (CATHALAC y USAID, 2008), presenta un análisis geo-referenciado de riqueza de especies de la región, en función de las especies actualmente conocidas. En cuanto al análisis climático utiliza datos climatológicos y los escenarios de alta resolución de SERVIR, PRECIS y *WorldClim* con los modelos HADCM3, “*Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis’ third generation coupled global climate model*” (CGCM3), “*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization’s Mark 3 of the coupled climate model*” (CSIRO MK3), todo ello bajo los escenarios B2 y A2. Con estos datos se construyó un Índice de Severidad del Cambio Climático (CCSI, por sus siglas en inglés), que mide cuán lejos se moverá un lugar de su zona de confort normal. De acuerdo con este análisis, bajo el escenario A2, en la década de 2020 las costas del Caribe desde Honduras a Panamá y República Dominicana, ricas en biodiversidad, se verán significativamente afectadas por el cambio climático. En la década de 2080, todos los ecosistemas y las especies de Centroamérica y la República Dominicana podrían quedar en condiciones fuera de su zona de habitabilidad natural. El análisis indica también que muchos ecosistemas y especies con mayor probabilidad de ser afectados por el cambio climático ya están dentro de las áreas protegidas.

El estudio “Estado actual y futuro de la biodiversidad en Centroamérica” fue elaborado por el Programa estratégico de monitoreo y evaluación de la biodiversidad, órgano de la CCAD ubicado en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (PROMEBIO, 2010). Esta modelación está basada en la metodología GLOBIO3 (*Global Biodiversity Model*) desarrollada por la Agencia de Evaluación Ambiental Holandesa con PNUMA. Considera los factores de presión sobre la biodiversidad derivados de la actividad humana: uso de suelos, infraestructura, fragmentación de áreas naturales,



cambio climático y deposición de nitrógeno. El análisis genera un indicador de la Abundancia Media de Especies (MSA por sus siglas en inglés), que mide la abundancia remanente de la abundancia original. En la actualidad, el índice arrojó pérdidas por un 52% y un remanente del 48%. La contribución del cambio climático a la pérdida de biodiversidad fue del 2.5% frente a la contribución de cambio de uso de suelo del 34%. Se construyeron tres escenarios al año 2030 en función de a) una proyección de tendencias actuales; b) una estimación considerando la implementación de las medidas de la Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible (ALIDES) y c) una proyección asociada a la implementación de los tratados de libre comercio. En el año 2030, el MSA cae a 43%-41% en los tres escenarios de desarrollo. La contribución del cambio climático aumentó en los tres casos aproximadamente un 4%.

Es importante aclarar que los estudios basados en el registro actual de especies no consideran todas las especies existentes, pues no todas han sido identificadas. Considerando que ya había estudios con el método de riqueza de especies para Centroamérica se optó por otro enfoque. En este estudio se utiliza un Índice de Biodiversidad Potencial (IBP) el cual indica la mayor probabilidad de encontrar más biodiversidad e integra variables climáticas y de territorio. Las variables son superficie total, superficie con ecosistemas diferentes a los urbanos y agropecuarios, latitud, curvas de nivel, temperatura, precipitación y disponibilidad de agua. Así, un mayor número de curvas de nivel en un territorio determinado indicaría la posibilidad de mayor número de ecosistemas que en territorios con menos curvas de nivel. A temperaturas más altas, mayor actividad biológica, como lo muestra la mayor biodiversidad y concentración de selvas a lo largo del Ecuador.

El IBP fue formulado con información geo-referenciada de los países del Sistema de Información Geográfica Ambiental Mesoamericano. Para las variables curvas de nivel, latitud y superficie total se usó información de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD y Banco Mundial, 2010); las variable de precipitación promedio y temperatura promedio se utilizó información del modelo HADCM3/HADGEM1 presentado en el capítulo 1. Para el uso de suelo, superficie con ecosistemas no alterados del año 2005 (excluyendo superficies agrícola, urbana y pastizales) se utilizó la información del capítulo 3. Para formular el índice las variables se normalizaron y se realizaron estimación de sección cruzada. El ejercicio considera a la región como un todo con datos de los países a nivel departamental. La especificación para las estimaciones de sección cruzada es la siguiente:

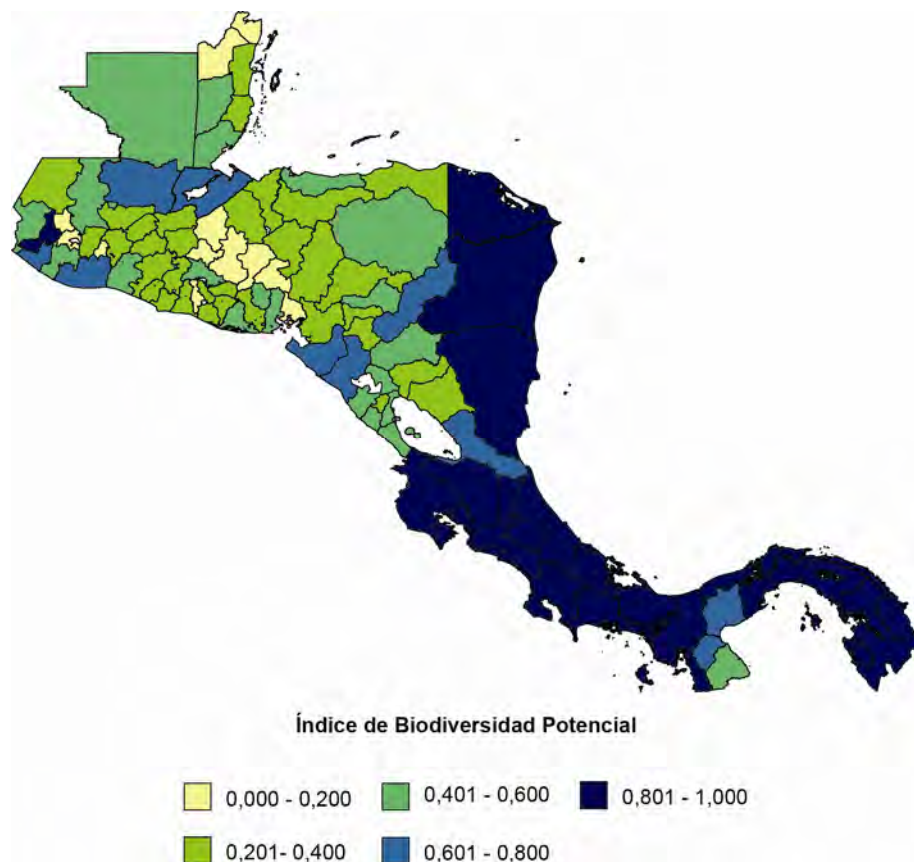
$$(6.1) \quad ib_i = \beta_0 + \beta_1 tm_i + \beta_2 tm_i^2 + \beta_3 pr_i + \beta_4 pr_i^2 + \beta_5 se_i + u_i$$

Donde *ib* es el índice de biodiversidad potencial, *tm* la temperatura, *pr* la precipitación, *se* la superficie con ecosistemas no alterados, los  $\beta$ 's son los coeficientes asociados a las variables incorporadas y  $u_i$  es el término de error. Donde se espera que los coeficientes  $\beta_1$ ,  $\beta_3$  y  $\beta_5$  sean positivos y  $\beta_2$  y  $\beta_4$  sean negativos. Esto indicaría que incrementos de temperatura y precipitación pueden tener efectos positivos en la biodiversidad pero en cierto punto se tornarían adversos; el coeficiente de uso de suelo tiene impacto positivo, pues si se mantiene, el índice potencial sin cambio climático no debería cambiar.

El resultado para el año 2005 se aprecia en el mapa 6.1, evidenciando la probabilidad de mayor biodiversidad en Costa Rica, Panamá y la costa Atlántica en coincidencia con las áreas boscosas. Es importante recordar que la medición considera diversas variables y que se trata de un índice normalizado de la región. Si se extrapolara a una región mayor, el promedio del potencial podría ser

más alto y Belice no tendría los valores relativamente bajos encontrados. De esta forma, lo que el índice expresa es el potencial de encontrar un mayor número de especies de plantas y animales en una determinada región. Así, zonas de agricultura intensiva con variables de curva de nivel, precipitación y temperatura propicios, como varios departamentos del litoral pacífico de Guatemala, podrían registrar índices de potencialidad más altos a los que existan actualmente.

**MAPA 6.1**  
**CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE BIODIVERSIDAD POTENCIAL, 2005**  
 (En escala de cinco niveles con azul oscuro representando un mayor IBP)



Fuente: Elaboración propia.

#### 6.4 ESCENARIOS DE BIODIVERSIDAD A 2100

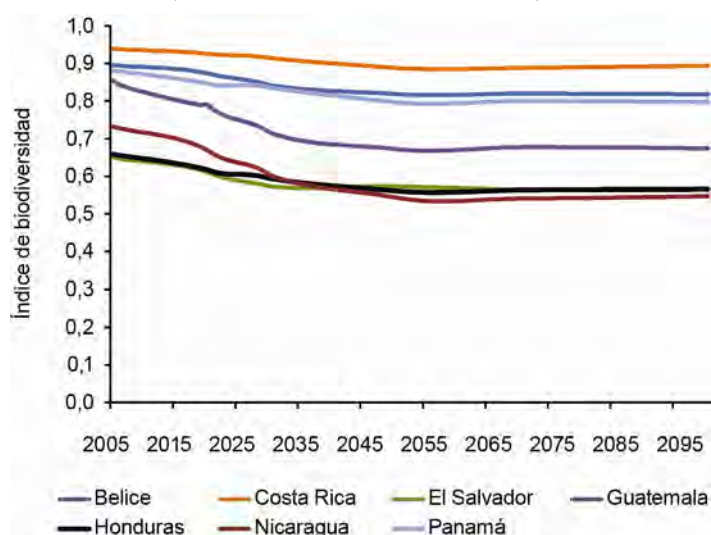
Para distinguir los impactos del cambio climático de los otros factores que afectan a los ecosistemas y la biodiversidad, se preparó un escenario base al año 2100. Este escenario toma en cuenta la tendencia de cambio de uso de tierra presentada en el capítulo 3. En este modelaje geo-referenciado se aplicó el modelo CLUE-S (*Change of Land Use and its Effects at Small Scale*, por sus siglas en inglés), modelo dinámico espacialmente explícito de cambio de uso de la tierra por demandas de las diferentes clases de uso consideradas según diversos factores explicativos. Las demás variables se dejaron constantes. Los resultados se muestran en el cuadro 6.3, el gráfico 6.1 y el mapa 6.1, escenario base 2100.

**CUADRO 6.3**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE BIODIVERSIDAD POTENCIAL BAJO EL ESCENARIO BASE**  
**(SIN CAMBIO CLIMÁTICO), 2005 A 2100**  
*(En porcentajes de reducción)*

Año	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Regional
2020	2,40	1,41	5,70	7,35	6,22	8,49	3,92	4,85
2050	8,59	5,39	11,58	21,35	14,65	25,75	9,55	13,45
2070	8,53	5,39	13,06	20,77	14,33	26,19	9,26	13,49
2100	8,69	4,76	13,06	21,14	13,95	25,38	9,53	13,36

Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 6.1**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE BIODIVERSIDAD POTENCIAL BAJO EL ESCENARIO BASE**  
**(SIN CAMBIO CLIMÁTICO), 2005 – 2100**  
*(En unidades decimales del índice de 0 a 1)*



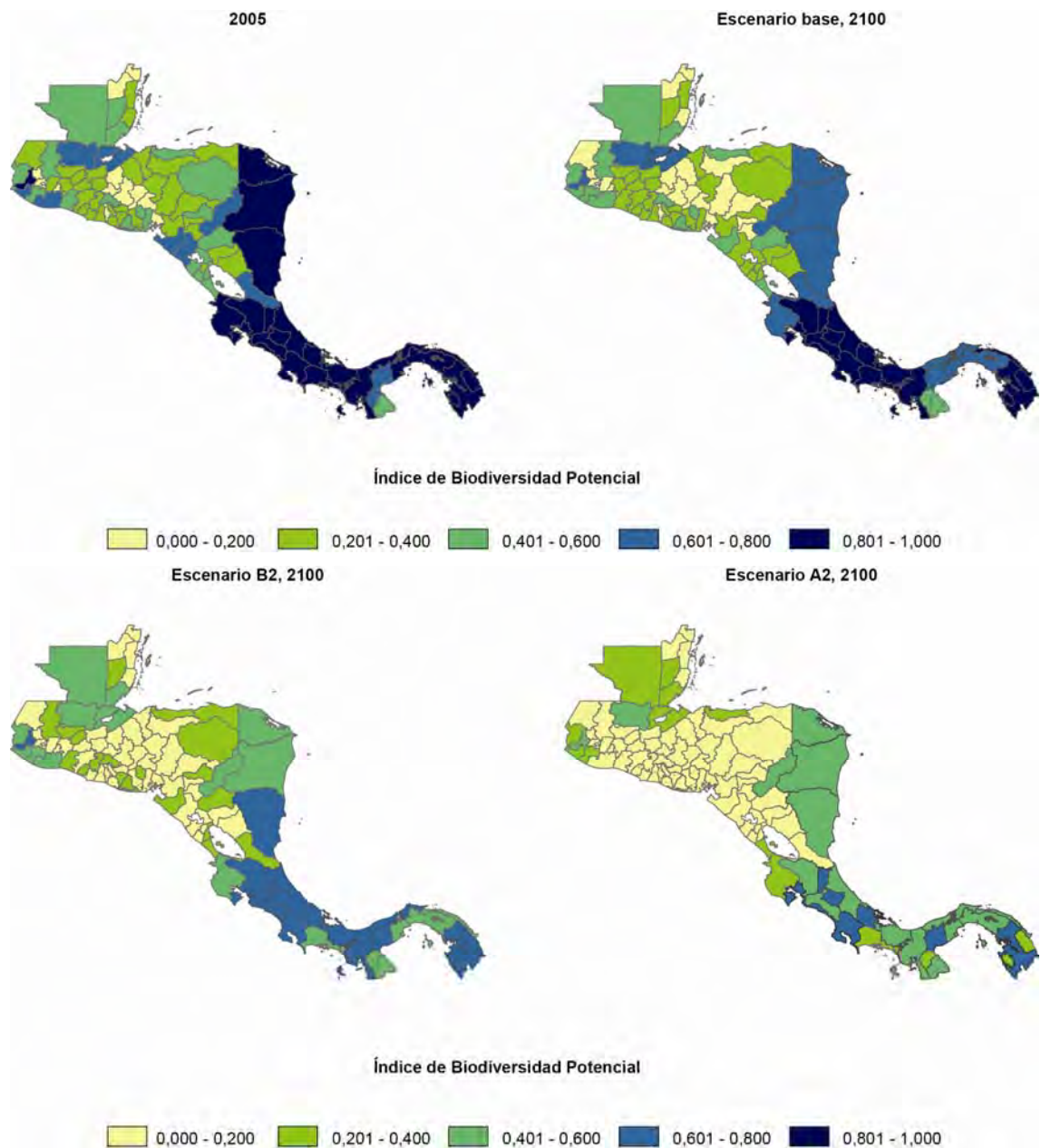
Fuente: Elaboración propia.

En este escenario se estima una reducción aproximada del 13% del IBP en la región. Los países más afectados serían Nicaragua (25%) y Guatemala (21%); el menos afectado, Costa Rica (5%). Se observa que la disminución en el escenario base se estabiliza hacia la segunda mitad del siglo, coincidente con la tendencia en el cambio de uso de suelo y, hasta cierto punto, con los cambios poblacionales en la segunda mitad del siglo.

A partir de los resultados a nivel municipal/provincial de las proyecciones de temperatura y precipitación de los modelos de circulación general HADCM3/HADGEM1 para los escenarios A2 y B2, respectivamente, se realizaron las simulaciones de modificación del IBP para el horizonte temporal al 2100, considerando el municipio que representa la cabecera departamental en cada caso. Estos escenarios incluyen los cambios de uso de suelo. Los resultados se muestran en el cuadro 6.4, el gráfico 6.2 y el mapa 6.2. Se observa que el IBP se reducirá significativamente en todos los países en ambos escenarios, más para el escenario A2, en el cual los incrementos de temperatura y la disminución de la precipitación serán mayores. Así, la simulación arroja una reducción del IBP de

más del 18% y del 36% al 2050 en los escenarios B2 y A2, respectivamente. Para el año 2100, la disminución del IBP alcanza el 33% y el 58%. A nivel de países, la reducción estimada del IBP en el escenario B2 fue desde la mitad en Nicaragua a aproximadamente el 22% en Belice. En el escenario A2 las reducciones son entre el 70% y el 75% para Guatemala, Nicaragua, El Salvador y Honduras, y entre el 38% y el 43% para los otros tres países.

**MAPA 6.2**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE BIODIVERSIDAD POTENCIAL, 2005,**  
**ESCENARIOS BASE Y CON CAMBIO CLIMÁTICO (B2 Y A2) EN 2100**  
*(En escala de cinco niveles con azul oscuro representando un mayor IBP)*



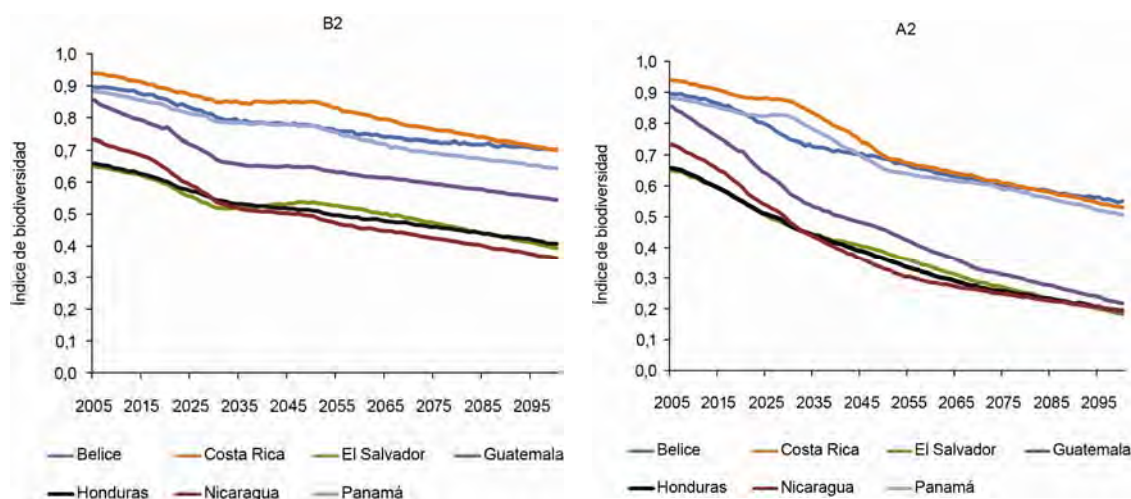
Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 6.4**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE BIODIVERSIDAD POTENCIAL CON CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIOS B2 Y A2), 2005 A 2100**  
*(En porcentajes de reducción)*

Año	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Regional
<b>Escenario B2</b>								
2020	4,43	5,12	8,59	9,93	8,58	12,55	5,36	7,56
2050	13,56	9,43	17,13	24,33	22,40	32,51	12,06	18,20
2070	18,42	17,50	24,92	29,43	28,55	40,33	20,78	25,12
2100	21,61	25,42	39,34	36,32	38,19	50,63	26,90	33,10
<b>Escenario A2</b>								
2020	6,91	5,72	15,71	16,79	16,53	19,11	5,85	11,79
2050	23,25	26,08	40,91	46,46	44,95	55,23	26,07	36,46
2070	31,82	33,45	56,18	61,70	59,42	64,65	31,09	46,87
2100	38,46	43,49	71,96	74,51	70,63	73,70	42,57	57,69

Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 6.2**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE BIODIVERSIDAD POTENCIAL CON CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIOS B2 Y A2), 2005 A 2100**  
*(En unidades decimales del índice de 0 a 1)*

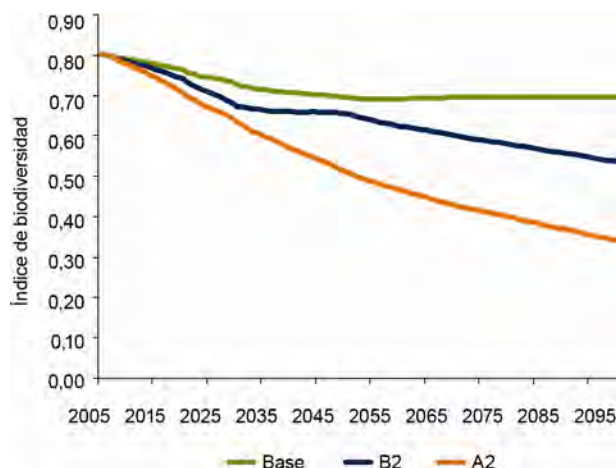


Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 6.3 representa la evolución del IBP regional bajo el escenario base y los dos escenarios de cambio climático. De nuevo, se observa que la disminución del IBP en el escenario base se estabiliza hacia la segunda mitad del siglo, pero con los escenarios de cambio climático los impactos de temperatura y precipitación se intensifican justamente en ese mismo período, más en el escenario A2.



**GRÁFICO 6.3**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE BIODIVERSIDAD POTENCIAL, ESCENARIOS BASE Y CON**  
**CAMBIO CLIMÁTICO (B2 Y A2), 2005 A 2100**  
 (En unidades decimales del índice de 0 a 1)



Fuente: Elaboración propia.

## 6.5 VALORACIÓN DIRECTA DE LA BIODIVERSIDAD

Los ecosistemas, además de proveer recursos naturales para las sociedades, cumplen funciones ambientales que sustentan la vida. Estas funciones pueden ser de regulación, hábitat, producción e información (Groot, 1992). Desde una perspectiva económica, el valor total proporcionado por los ecosistemas, las especies o cualquier otro recurso, puede dividirse según sus formas de utilización por los seres humanos: valor de uso directo e indirecto, valor de no uso, incluyendo el valor de existencia y el valor de la opción (Pearce, 1992). En este estudio enfocamos los valores de uso directo e indirecto.

La conservación de la biodiversidad puede mejorar la posición competitiva y los rendimientos de muchas actividades económicas. Los servicios de la biodiversidad que reciben valor de mercado directo son múltiples. Con base en la información disponible y homogeneizándola lo más posible, se utilizaron los siguientes elementos:

- Agricultura: enfocada en prácticas amigables con la biodiversidad, como producción orgánica.
- Silvicultura: enfocada en manejo sustentable, como madera certificada.
- Productos no maderables: uso comercial de especies silvestres, como plantas y flores ornamentales, frutos, hierbas, especies, hongos, miel, corcho, resinas, paja, ratán, bambú y una diversidad de productos de plantas y animales de uso medicinal, cosmético, culinario, cultural y otros.
- Bioprospección: investigación y exploración selectiva de la diversidad biológica para identificar recursos genéticos y bioquímicos actual o potencialmente valiosos desde el punto de vista comercial, lo que es considerado un valor de opción de la biodiversidad (Loa y otros, 1996).
- Ecoturismo: esparcimiento responsable que conserve áreas naturales y mejore el bienestar de la población local.

- Pago por Servicios Ambientales (PSA) y esquemas por manejos compensatorios de ecosistemas: atribución de valor a los servicios ambientales y fijación de precios y sistemas de retribución para prácticas sostenibles. Costa Rica es pionera de los sistemas PSA, mientras El Salvador se enfoca al manejo y conservación de ecosistemas y cuencas, áreas naturales protegidas y parques nacionales. En Guatemala existen diversos Fondos Nacionales para Biodiversidad y Áreas Naturales Protegidas, y cuenta con el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) el cual, en sus primeros diez años, de 1997 a 2007, ha facilitado el establecimiento y mantenimiento de 62.2 miles de hectáreas con plantaciones forestales en tierras que antes no tenían cobertura forestal. Los esquemas compensatorios de especies y servicios ambientales se están adoptando en varias zonas del mundo.

Bishop, Kapila y Hicks (2008) estiman que el valor de los mercados de servicios ecosistémicos será de 319.850 millones de dólares anuales en 2050. De acuerdo con la misma fuente, el valor agregado mundial actual de estos servicios asciende a 41.215 millones de dólares anuales, cuyos renglones principales son: agricultura certificada, pesquerías, productos maderables certificados y fondos de conservación del suelo.

Sobre la base de información de cuentas nacionales y mercados formales se calculó el valor agregado de los servicios asociados a la biodiversidad para cada país (véase el cuadro 6.5). La información de Belice sobre PSA, programas de manejo y bioprospección es escasa. El valor de la producción orgánica de toda la región sería de 91,7 millones de dólares. Los países con mayor participación son Costa Rica y Nicaragua. En segundo lugar está la producción no maderable con 33,44 millones de dólares, seguida por ecoturismo con 29,78 millones de dólares. El rubro con menor aporte es la exportación de animales vivos. Costa Rica acumula el mayor valor (63,47 millones de dólares), Belice el menor (8,88 millones de dólares).

**CUADRO 6.5**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO DE VALORES DIRECTOS REGISTRADOS**  
**DE LOS SERVICIOS DE LA BIODIVERSIDAD**  
*(En millones de dólares a precios del 2000)*

Servicios	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
Ecoturismo	0,53	13,49	ND	0,59	1,42	0,08	13,67	29,78
Animales vivos	ND	0,49	1,51	0,05	0,03	0,08	0,04	2,20
Productos animales	ND	0,95	0,17	0,05	0,14	1,45	0,58	3,35
Producción forestal certificada (sostenible)	1,79	0,09	0,00	5,93	0,09	0,00	0,01	7,91
Producción agrícola orgánica	3,25	23,71	12,09	10,21	6,18	28,57	7,73	91,75
Producción no maderable	1,32	11,37	2,86	6,20	2,48	7,08	2,13	33,44
Bioprospección	1,98	3,18	ND	ND	ND	ND	0,60	5,76
Pagos por servicios ambientales (PSA) y programas de manejo	ND	10,20	7,81	6,57	ND	0,04	ND	24,62
Total	8,88	63,47	24,44	29,62	10,34	37,30	24,76	198,81

Fuente: Elaboración propia con datos de los países.

## 6.6 VALORACIÓN INDIRECTA DE LA BIODIVERSIDAD

Los métodos de valoración indirecta suelen diferir entre sí por sus distintas formas de recolección de información y su aplicación a diferentes situaciones. Existen métodos que emplean encuestas sobre gastos a realizar, gastos realizados, valores a ordenar, encuestas grupales e individuales, encuestas telefónicas, etc. Se encontraron 163 estudios de valoración económica de diversos servicios ecosistémicos con diferentes métodos en la región<sup>1</sup>: valoración contingente, costos de viaje, función de producción, costos evitados y meta-análisis, entre otros. El 38% de los estudios se refieren a Costa Rica, el 19% a Guatemala, el 13% a Honduras, el 13% a Nicaragua, el 5% a Panamá y el 2% a Belice. Los estudios varían en escala y temporalidad, por lo que no son comparables ni agregables.

Para realizar la valoración indirecta de la biodiversidad se utilizó una función de producción agrícola. La función de producción (Solow, 1956) relaciona el producto total con sus factores productivos, que normalmente incluyen capital y trabajo. En forma creciente se incluyen variables de aspectos ambientales como energía, contaminación, degradación ambiental y biodiversidad (Mabey y otros, 1997; Coase, 1960). Una función de producción que incluya la biodiversidad como factor productivo permitirá estimar su contribución marginal a la producción y así estimar el precio sombra de los servicios ecosistémicos. En este estudio se incluye la contribución de la biodiversidad a la dispersión de semillas, la polinización y la regulación de plagas y sus impactos negativos. Así, la función de producción se puede expresar como:

$$(6.2) \quad y = f(k, l, bio)$$

Donde  $y$  es el producto agrícola,  $k$  los factores de capital,  $l$  el empleo en el sector agrícola y  $bio$  la biodiversidad. La estimación de la ecuación (6.2) considera que el mayor impacto directo de la biodiversidad se concentra en el sector agropecuario. La evidencia disponible sugiere que la diversidad biológica contribuye a aumentar la biomasa y la producción agrícola al aumentar la capacidad de resistencia a las plagas y las opciones productivas (Brock y Xepapadeas, 2003). De este modo, se estimó una función de producción del sector agropecuario para los países con datos de sección cruzada. Los resultados se muestran en el cuadro 6.6, donde se observa que el IBP es estadísticamente significativo, con un coeficiente de 0,018, lo que indicaría una menor participación de esta variable, comparada con el resto de factores de producción considerados.

**CUADRO 6.6**  
**CENTROAMÉRICA: MODELO DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO AGRÍCOLA REGIONAL, 2006**  
(Coeficientes del modelo econométrico)

Variable	Modelo PIB Agrícola	
	Coeficiente	Error estándar
ÍBP regional ( $ibr_t$ )	0,018	(0,007)
PEA agrícola ( $lag_t$ )	0,140	(0,001)
Uso de fertilizantes ( $fe_t$ )	0,520	(0,001)
Uso de tractores ( $tr_t$ )	0,345	(0,002)

Nota: El método es estimación con mínimos cuadrados generalizados, los valores entre paréntesis indican los errores estándar. Año de estimación: 2006.

Fuente: Elaboración propia.

<sup>1</sup> Los estudios están resumidos en el cuadro "Valoración económica de la biodiversidad en Centroamérica", Anexo 1.

## 6.7 ESTIMADO INICIAL DE COSTOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

Sobre la base de la valorización de la biodiversidad se estimaron los costos asociados al impacto sobre el IBP, según los cambios pronosticados en temperatura y precipitación al 2100 a Valor Presente Neto (VPN) del PIB de 2008 y diferentes tasas de descuento. Los resultados se presentan en el cuadro 6.7. Se observa que los costos indirectos en la agricultura, comparados con los directos, son mayores en todos los casos, manteniendo todas las condiciones constantes (incluyendo deforestación y cambio de uso de suelo). Por ejemplo, para Belice en el escenario B2 con tasa de descuento del 0,5%, los costos directos son el 3% y los indirectos el 12% del PIB de 2008, mientras que en el escenario A2 los costos indirectos son el 8% y los indirectos el 16% del PIB de 2008.

La estimación del costo regional medio para el 2100 con tasa de descuento del 0,5%, considerando ambos tipos de valoración, es alrededor de un 12% y un 18% en los escenarios B2 y A2, respectivamente. Con tasa de descuento del 2% para el escenario B2 es del 4%; para A2 es del 7%. Por países, en el escenario B2 y tasa de descuento del 0,5%, el país con mayores costos es Nicaragua (41%); el país con menores costos es El Salvador (5%). En el escenario A2 las cifras varían entre un 58% en Nicaragua y un 9% en El Salvador.

**CUADRO 6.7**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIOS B2 Y A2) EN LA BIODIVERSIDAD, 2008 A 2100, CON COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS**  
(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)

País	Tasa de descuento							
	0,5%		2%		4%		8%	
	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2
<b>Costos directos</b>								
Belice	3,14	7,66	1,38	3,41	0,57	1,41	0,17	0,41
Costa Rica	1,59	3,39	0,70	1,43	0,30	0,55	0,10	0,14
El Salvador	0,68	2,10	0,30	0,93	0,12	0,39	0,04	0,12
Guatemala	0,50	2,19	0,22	0,97	0,10	0,41	0,03	0,13
Honduras	0,49	1,43	0,21	0,64	0,09	0,27	0,03	0,08
Nicaragua	4,23	10,73	1,89	4,90	0,82	2,12	0,28	0,68
Panamá	0,57	1,17	0,24	0,47	0,09	0,17	0,03	0,04
Regional	0,95	2,59	0,41	1,14	0,17	0,47	0,06	0,14
<b>Costos indirectos</b>								
Belice	11,94	16,05	4,34	5,74	1,33	1,72	0,23	0,28
Costa Rica	4,60	6,24	1,70	2,21	0,53	0,64	0,09	0,10
El Salvador	4,14	6,77	1,63	2,58	0,58	0,87	0,14	0,19
Guatemala	18,75	28,29	7,24	10,56	2,44	3,40	0,51	0,66
Honduras	10,93	17,82	4,09	6,55	1,32	2,06	0,26	0,38
Nicaragua	36,63	47,29	13,40	17,17	4,17	5,27	0,76	0,92
Panamá	8,38	10,04	3,02	3,54	0,92	1,04	0,16	0,17
Regional	10,76	15,38	4,05	5,64	1,32	1,77	0,26	0,33
<b>Costos totales</b>								
Belice	15,08	23,71	5,72	9,15	1,90	3,13	0,40	0,70
Costa Rica	6,19	9,64	2,40	3,64	0,84	1,19	0,20	0,24
El Salvador	4,82	8,87	1,92	3,51	0,70	1,25	0,18	0,31
Guatemala	19,25	30,48	7,46	11,53	2,54	3,80	0,54	0,78
Honduras	11,41	19,25	4,30	7,19	1,41	2,33	0,29	0,46
Nicaragua	40,86	58,02	15,29	22,07	4,99	7,38	1,04	1,60
Panamá	8,96	11,21	3,26	4,01	1,01	1,21	0,19	0,21
Regional	11,71	17,97	4,46	6,78	1,49	2,23	0,32	0,46

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 6.8, con los cortes temporales de los costos para la región, se observa que éstos son crecientes y se incrementarían en mayor medida a partir del 2070, cuando el cambio climático sería más intenso. Así, el costo del cambio climático en la biodiversidad de la región al 2050 es de un 1.6% y un 2.3% en los escenarios B2 y A2, respectivamente, con tasa de descuento del 0.5%. Para el 2070 aumentan al 4% y al 6%, respectivamente, y al 12% y al 18% a 2100.<sup>2</sup>

**CUADRO 6.8**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIOS B2 Y A2) EN LA BIODIVERSIDAD CON AÑOS CORTE, 2008 A 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Año	Tasa de descuento							
	0,5%		2%		4%		8%	
	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2
2020	0,10	0,16	0,08	0,14	0,07	0,11	0,05	0,08
2030	0,38	0,55	0,30	0,43	0,22	0,32	0,12	0,19
2050	1,63	2,33	1,05	1,50	0,61	0,87	0,24	0,34
2070	4,02	5,98	2,12	3,13	0,98	1,45	0,29	0,42
2100	11,71	17,97	4,46	6,78	1,49	2,23	0,32	0,46

Fuente: Elaboración propia.

## 6.8 CONSIDERACIONES FINALES

1. La biodiversidad es un activo fundamental que contribuye al bienestar de la humanidad a través de los diversos bienes y servicios ambientales o ecosistémicos que proporciona. Centroamérica cuenta con este activo, un verdadero tesoro, el cual compensa hasta cierto punto el limitado acceso de la población pobre a bienes necesarios para su sobrevivencia vía el mercado.
2. El conjunto de estos bienes y servicios ambientales contribuye de diversas formas a los procesos de producción, distribución y consumo; en este sentido, tiene un valor económico incuestionable. No obstante, este valor no se refleja de forma real en los precios de mercado; en muchos casos no se refleja en absoluto. Una gran parte de los servicios ecosistémicos de Centroamérica no son valorizados, así que no se puede esperar su incorporación a los mercados a tiempo para incentivar decisiones correctas de uso y preservación. Las señales vía productividad agrícola, disponibilidad de agua y otras llegarán cuando los activos se hayan agotado, lo que ocurrirá aun sin cambio climático.
3. La influencia de las actividades humanas en los ecosistemas es relevante porque modifica su disponibilidad, su estructura y su comportamiento sistémico. Esta presión probablemente aumentará por lo menos hasta que la población se estabilice, aun sin cambio climático, y hasta transitar a una economía más eficiente en el uso de los recursos naturales y mucho menos contaminante.

<sup>2</sup> Aunque en los primeros años los costos asociados al cambio climático son menores porque los cambios de temperatura y precipitación también son menores, este período coincide con los años en los que se observan mayores pérdidas en el IBP debido al cambio de uso de tierra (sin cambio climático). Para la segunda mitad del siglo, estas pérdidas se estabilizan, y los costos asociados al cambio climático aumentan debido a la intensidad del fenómeno.



4. La mayoría de los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad son negativos y tienden a intensificar las tendencias actuales a la destrucción de los ecosistemas (IPCC, 2007c). Los factores que inciden en su pérdida y degradación son: pérdida de hábitat, fragmentación, sobreexplotación, contaminación e impacto de especies invasoras.
5. Con los resultados de las proyecciones de temperatura y precipitación de los modelos de circulación general HADCM3/HADGEM1 para los escenarios B2 y A2, respectivamente, se observa que el IBP se reducirá significativamente en todos los países, más en el escenario A2, donde el incremento de temperatura y la disminución de precipitación son mayores. A nivel regional, la simulación estima una reducción del índice en más del 18% y del 36% al 2050 para el escenario B2 y A2, respectivamente. Para el 2100 la disminución alcanza un 33% y un 58%. Por países la reducción estimada de la biodiversidad potencial en el escenario B2 fue desde un 50% en Nicaragua a aproximadamente un 22% en Belice. En el escenario A2 las reducciones son entre el 70% y el 75% para Guatemala, Nicaragua, El Salvador y Honduras, y entre el 38% y el 43% para los otros tres países.
6. Una pequeña parte de los servicios proporcionados por la biodiversidad ha sido objeto de valoración económica. El costo del cambio climático es significativo en todos los casos. Su estimación en los escenarios B2 y A2 a 2100 es equivalente al 12% y al 18%, respectivamente, respecto al PIB de 2008 VPN a tasa de descuento del 0,5%, incluyendo impactos directos e indirectos. Por países, en el escenario B2 y tasa de descuento del 0,5%, el país con mayores costos es Nicaragua (41%) y el país con menores costos es El Salvador (5%). En el escenario A2 las cifras varían desde el 58% en Nicaragua hasta el 9% en El Salvador. Una parte importante de este costo es por pérdidas de producción agrícola, lo cual probablemente es adicional al costo calculado en el capítulo correspondiente. Estos cálculos no incluyen los impactos en la biodiversidad por la pérdida de áreas de ecosistemas, como los bosques, provocada por el cambio de uso de tierra en el escenario base sin cambio climático.
7. En función de lo que conocemos sobre los ecosistemas, los aumentos previstos de temperatura y la mayor variabilidad e inestabilidad de la precipitación probablemente son amenazas mayores y adicionales a la actividad humana, que seguirá creciendo hasta mediados de este siglo. Responder a este reto requerirá incorporar en la valorización los servicios ambientales de la biodiversidad y medidas fuera del mercado para generar incentivos y marcos regulatorios adecuados.
8. Las proyecciones de las respuestas de la biodiversidad al cambio climático presentan un alto grado de incertidumbre y son muy difíciles de predecir con precisión actualmente (L. Hannah y otros, 2002). Los resultados de este análisis deben entenderse como indicaciones de las tendencias, no proyecciones de cifras exactas.
9. La conservación de la biodiversidad es prioritaria más allá de los costos o beneficios económicos. Es necesario considerar el principio de precaución y establecer un estándar mínimo, considerando la irreversibilidad de la pérdida biológica, el riesgo y la incertidumbre (Bauer, 1995).
10. Proteger los ecosistemas naturales puede proveer beneficios sociales económicos y ambientales de forma directa a través del manejo sustentable de los recursos biológicos e indirectamente por la protección de los servicios ecosistémicos aun sin cambio climático.

11. En el marco de adaptación al cambio climático, los ecosistemas naturales pueden reducir su vulnerabilidad a riesgos naturales y eventos climáticos extremos y fungir como complementos o substitutos de la inversión en infraestructura, que puede tener costos más elevados (Banco Mundial, 2010). Por ejemplo, las plantaciones forestales y los manglares costeros proveen protección contra tormentas, inundaciones, huracanes y tsunamis.
12. Las medidas de adaptación de la biodiversidad se orientan a: a) proteger los ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce, corredores ecológicos y servicios ecosistémicos asociados (Banco Mundial, 2010); b) restaurar las áreas degradadas e improductivas según criterios de calidad de la producción primaria y la reforestación; c) identificar los ecosistemas, la diversidad de especies y los recursos filogenéticos más vulnerables a los efectos del cambio climático a fin de tomar medidas de protección y conservación prioritarias (UNDG, 2009).
13. Debido a que el cambio climático y la pérdida de hábitat por otros factores interactúan con los paisajes, se recomienda aumentar y fortalecer el enfoque de corredor biológico y las Áreas Naturales Protegidas (más de 550 en la región) para abarcar mayor escala biogeográfica, dar mayor flexibilidad a la definición de zonas de protección y ordenación del territorio, proporcionar refuerzo para proteger el futuro de refugios climáticos (Giro, 2008), expandir programas transversales entre la agricultura, el aprovechamiento forestal sustentable y el rescate de cultivos criollos y especies silvestres endémicas con resistencia a las enfermedades.
14. Los esfuerzos para mitigar el impacto de la agricultura en la diversidad biológica deberían centrarse no sólo en impedir que la agricultura se extienda a las áreas protegidas existentes o los hábitats naturales, sino en encontrar formas de intensificar los sistemas de producción sin impactos negativos en la biodiversidad y fomentar cambios del paisaje que refuercen las medidas de conservación.
15. Sería recomendable ampliar y precisar los esquemas financieros que incentiven el manejo sustentable de los bosques y reconozcan el valor económico de sus servicios ambientales, incluyendo los hidrológicos y de sumidero de carbono. La región tiene experiencias como el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) de Costa Rica, el *Protected Areas Conservation Trust* de Belice, el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) y el Programa de Incentivos para Pequeños Poseedores de Tierras de Vocación Forestal o Agroforestal (PINEP) de Guatemala y el Programa de Certificados de Incentivos Forestales de Panamá. Asimismo, se ha propuesto la creación de un Fondo Mesoamericano para el Pago por Servicios Ambientales, cuyo objetivo es contribuir al desarrollo sostenible de la región centroamericana, fortaleciendo el régimen de cooperación e integración para la gestión ambiental (PNUMA, CCAD y SICA, 2010).
16. Es preciso analizar el potencial de sinergias entre esfuerzos de conservación y adaptación de los ecosistemas naturales con los mecanismos de fomento y compensación de medidas de reducción de emisiones por degradación y deforestación.

CAPÍTULO 6.  
ANEXO: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE VALORACIÓN ECONÓMICA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
EN LA REGIÓN

VALORACIÓN ECONÓMICA DE BIODIVERSIDAD EN CENTROAMÉRICA

Servicio ecosistémico	Estudio específico	Método de valoración										Autor(es)	Estimaciones	
		Valoración contingente	Costo de viaje	Función de producción	Costos evitados	Análisis de Cluster	Precios hedónicos	Ingreso por turismo	Metanálisis	Análisis costo - beneficio	Costo de reemplazo			Mercado
SERVICIOS DE SOPORTE														
Hábitat	Parque Nacional Volcan Poas, Costa Rica							✓				Fürst y otros (2004)	\$23,4 millones de dólares	
Hábitat	Parque Nacional Cahuita, Costa Rica							✓				Fürst y otros (2004)	\$4,3 millones de dólares	
Hábitat	Parque Nacional Chirripo en Costa Rica (ingresos turísticos, belleza escénica, biodiversidad, recursos hídricos)							✓				Fürst y otros (2004)	\$0,7 millones de dólares	
Hábitat	Parque Nacional Tepanti en Costa Rica	✓										Jouanno y otros (2009)	\$2,5 millones dólares/año por todos los servicios brindados \$43 dólares/año para el área total del parque.	
Hábitat	Parque Nacional Braulio Carrillo, Costa Rica							✓				Alpizar, Carlisson y Naranjo (2007)	\$6,7 dólares /alojamiento/ por persona \$2 dólares /acampar Promedio: \$25 dólares /noche. Costo de entrada: \$6 dólares Para turistas internacionales.	
Hábitat	Pago por servicios ambientales conservación y Regeneración en Costa Rica								✓			La Gaceta (2002)	\$92 dólares /hectárea	
Hábitat	Pago por servicios ambientales en Tierras altas de Heredia, por reforestación, Costa Rica								✓			La Gaceta (2002)	\$852 dólares /hectárea	
Hábitat	Tierras altas de Heredia, pagos por plantaciones establecidas, Costa Rica	✓										La Gaceta (2002)	\$92 dólares/hectárea	
Hábitat	Valoración del parque nacional Miguel Antonio en Costa Rica, ofreciendo hábitat de selva, playa, flora y fauna.	✓										Shultz, Pinazzo y Cifuentes (1998)	\$13 dólares para residentes y \$14 dólares para extranjeros	
Hábitat	Valoración del Parque Nacional Poas, en Costa Rica siendo un hábitat de tierras altas tropicales y vistas volcánicas	✓										Shultz, Pinazzo y Cifuentes (1998)	\$11 dólares para residentes y \$23 dólares para extranjeros	
Hábitat	Conservación de Áreas Protegidas, Costa Rica			✓								Fürst y otros (2004)	\$8,92 millones de dólares	
Hábitat	Extramuralidades de los Recursos Naturales en la sub cuenca Matanzas del Río Polochic, Guatemala para el año 1997									✓		Robledo Hernández (2001)	Costo de Atención médica: \$330 dólares /persona Costo total método defensivo: \$22 885,6 dólares Costo total con método de reemplazo:\$3 205,12 dólares Costo total de azolvamiento: \$6 133,33 dólares	

(Continúa)

(Continuación Anexo)

Servicio ecosistémico	Estudio específico	Método de valoración										Autor(es)	Estimaciones
		Valoración contingente	Costo de viaje	Función de producción	Costos evitados	Análisis de Clúster	Precios hedónicos	Ingreso por turismo	Metaanálisis	Análisis costo - beneficio	Costo de reemplazo	Mercado	
Habitat	Pago por Servicios ambientales en <i>Costa Rica</i>								✓			C. Campos, Baudín y Lain (2001)	Centro científico tropical: \$50 dólares/ha/año Fundación neotropical: \$24 dólares/ha/año Inversión 1997: \$14 millones de dólares
SERVICIOS DE REGULACIÓN													
Regulación hídrica	Bosque Comunal Toncuntún en <i>Honduras</i>								✓			Talavera (2002)	\$27.4 dólares/ha
Regulación hídrica	Subcuenca Jones, Biosfera de Sierra de las Minas en <i>Guatemala</i> (costo de oportunidad)				✓							V. Hernández (2001)	\$23 dólares/ha
Conservación y manejo forestal	Costo de oportunidad en Cuencas del Río Sarapiquí en <i>Costa Rica</i>								✓			Tattenbach (1999)	\$ 40 dólares/ha/año
Control de erosión	Valor económico de la erosión del suelo en San Miguel Petén en <i>Guatemala</i>								✓			Oliveira (1996)	Forma tradicional: \$31.81 dólares/año Barbecho mejorado: \$2.04 dólares/año En términos de nutrición: Forma tradicional: \$2 767.5 dólares/año Barbecho mejorado: \$177.6 dólares/año
Control de maleza	Control de maleza en el Sistema agrícola de San Miguel Petén, <i>Guatemala</i>								✓			Oliveira (1996)	Tradicional: \$3 262.5 dólares/año Barbecho mejorado: \$1 740 dólares/año
Polinización	Servicio de polinización para producción de café en dos fragmentos de bosque de <i>Costa Rica</i>			✓								Ricketts, Caron y Nelson (2004)	\$0.06 millones de dólares/año
SERVICIOS DE PROVISIÓN													
Abastecimiento de agua	Cantones del municipio de San Francisco Menéndez en <i>El Salvador</i>										✓	Rosa, Herrador y González (1999)	\$6.14 dólares/mes/familia
Abastecimiento de agua	Oferta hídrica en las subcuencas Molino Norte y San Francisco en Matagalpa, <i>Nicaragua</i>	✓										Gutiérrez (2002)	\$ 2.46 dólares/mes/familia (modelo paramétrico simple), \$1.5 dólares/mes/familia (modelo no paramétrico), VET \$ 0.16 millones de dólares
Abastecimiento	Valoración total del Lago Amatitlán en <i>Guatemala</i> incluye (abastecimiento de agua, pesquerías, recreación y turismo, riego, actividades culturales, generación de energía, sumidero de desechos)	✓	✓					✓		✓		Pape e Ixcot (1998)	\$9.8 millones dólares/año.
Abastecimiento de agua	Lago Amatitlán en <i>Guatemala</i> consumo humano de agua (pública y privada) y consumo industrial								✓			Pape e Ixcot (1998)	\$ 0.03 dólares/m³; \$ 1.8 millones de dólares/año (consumo humano). \$1.1 millones de dólares/año (consumo industrial)
Abastecimiento de agua	Parque Nacional Tepanti en <i>Costa Rica</i>	✓										Jouanno y otros (2009)	\$0.2 millones de dólares/año
Abastecimiento de agua	Valoración del pago por servicios prestados por las cuencas en el mundo										✓	Grigg y Burret (2010)	\$1 500- \$3 000 millones de dólares para 2010

(Continúa)

(Continuación Anexo)

Servicio ecosistémico	Estudio específico	Método de valoración										Autor(es)	Estimaciones
		Valoración contingente	Costo de viaje	Función de producción	Costos evitados	Análisis de Cluster	Precios hedónicos	Ingreso por turismo	Metanálisis	Análisis costo-beneficio	Costo de reemplazo	Mercado	
Abastecimiento de agua	Zona de recarga de "La quebrada Los Arados" en la comunidad de Los Frijolares en Honduras	✓										J. A. D. Rodríguez (2002)	\$0,083 dólares/m <sup>3</sup> en efectivo y \$0,43 dólares/m <sup>3</sup> en días de trabajo. VET, \$2 842,61 dólares
Abastecimiento de agua	Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano en Honduras										✓	Barzev (2002)	\$1,06 millones dólares/año
Abastecimiento de agua	Reserva Natural Cordillera Dipilto – Jalapa en Nicaragua								✓			Barzev (2004)	\$0,19 millones de dólares
Abastecimiento de agua	Cuenca del Río en Medio Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica	✓										Merayo (1999)	Voluntad a pagar \$1,49 dólares/usuario adicional a la tarifa que paga.
Abastecimiento de agua	Cuenca del Río en Medio Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica								✓			Merayo (1999)	Costo de producción de agua: \$0,116 dólares/m <sup>3</sup> ; costo de mantenimiento de producción de agua: \$0,0163 dólares/m <sup>3</sup> ; Costo de limpieza del agua: \$0,217 dólares/m <sup>3</sup> ; Fondo de Reserva: \$0,0341 dólares/m <sup>3</sup> ; Costo total: \$0,628 dólares/m <sup>3</sup>
Abastecimiento de agua	Parque Nacional la Tigra, Tegucigalpa, Honduras	✓										Salgado (1996)	Estrato bajo: \$6,07 dólares Estrato medio: \$6,92 dólares Estrato alto: \$9,05 dólares Estrato superior: \$12,29 dólares. Estrato comercial: \$14,36 dólares DAP total: 0,24 millones de dólares/mes
Abastecimiento de agua	Subcuenca de los Ríos Jucupa y Calico en Nicaragua										✓	Baltodano (2005)	Costo estimado: \$0,012 millones dólares para Jucupa y \$0,016 millones dólares para Calico
Abastecimiento de agua	Municipio de Copán Ruinas en Honduras. Pago por Servicios Ambientales Hídricos, (PSEH)								✓			Retamal (2006)	\$0,011 millones de dólares/año total; y para municipio: \$3 491 dólares/año
Alimentos	Lago Amatitlán Guatemala	✓										Pape e Ixcot (1998)	\$150 millones dólares/año
Alimentos	Sistema agrícola de maíz tradicional y maíz en barbecho mejorado en San Miguel Petén, Guatemala										✓	Oliveira (1996)	\$65,15 dólares ha/año (maíz); total: \$2 563 dólares/año \$214,87 dólares ha/año (barbecho mejorado); total: \$9 996 dólares/año Beneficios adicionales: \$149,72 dólares
Bioprospección	Unidad de bioprospección del parque Braulio Carrillo, Costa Rica				✓							Alpizar, Carlsson y Naranjo (2007)	\$0,7 millones de dólares/año
Bioprospección	Bioprospección en Costa Rica, conservación de biodiversidad							✓				Guevara y C. Rodríguez (2002)	\$2,2 millones de dólares
Bioprospección	Valoración de pesquerías (camarón) en la Región II de Nicaragua										✓	Windevoxhel (1992)	\$2,7 millones de dólares (1990)
Investigación, bioprospección y conservación	Biodiversidad, Costa Rica				✓							Furst y otros (2004)	\$5,6 millones de dólares
Farmacéuticos	Belice										✓	Balick y Mendelsohn (1992)	\$1 250 dólares/ha

(Continúa)



(Continuación Anexo )

Servicio ecosistémico	Estudio específico	Método de valoración										Autor(es)	Estimaciones
		Valoración contingente	Costo de viaje	Función de producción	Costos evitados	Análisis de Clúster	Precios hedónicos	Ingreso por turismo	Metanálisis	Análisis costo - beneficio	Costo de reemplazo	Mercado	
Recuperación de salud	Lago Amatitlán Guatemala	✓										Pape e Ixcot (1998)	\$6 543 dólares/año
Hidroeléctricas	Planta hidroeléctrica Aguacapa en Guatemala				✓							W. I. R. Hernández (2003)	\$0,076 millones de dólares
Hidroeléctricas	Protección de la calidad del agua en la hidroeléctrica en Subcuenca Jones, Biosfera de Sierra de las Minas en Guatemala (costo de oportunidad)				✓							V. Hernández (2001)	\$23 dólares/ha
Hidroeléctricas	Costo de planta Hidroeléctrica Los Escavos en Guatemala				✓							W. I. R. Hernández (2003)	\$0,50 millones de dólares
Hidroeléctricas	Sector energético en Costa Rica, producido principalmente por el recurso hídrico, perdida por sequías			✓								Leguía y otros (2008)	Pérdida de \$8,8 millones de dólares (2001)
Hidroeléctricas	Parque Nacional Tepanti en Costa Rica	✓										Jouanno y otros (2009)	\$1,7 millones de dólares/año
Hidroeléctricas	Ingresos generados por proyectos hidroeléctricos en Costa Rica										✓	Fürst y otros (2004)	\$87 millones dólares
Generación de energía eléctrica	Lago Amatitlán Guatemala	✓										Pape y Ixcot (1998)	\$15,5 millones de dólares/m³/año
Producción agrícola y ganadera	Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano en Honduras (Margen Bruto Total)										✓	Barzev (2002)	\$4,4 millones de dólares
Producción agrícola	Reserva Natural Cordillera Dipilto – Jalapa en Nicaragua.										✓	Barzev (2004)	\$3,39 millones de dólares (granos básicos); \$0,52 millones de dólares (café oro); \$0,95 millones dólares (cabezas de ganado)
Producción agrícola	Subcuenca del Río Aguas Calientes, Nicaragua producción de henequén								✓			Benegas y otros (2007)	Costos: 3 año (cosecha) \$484 dólares Ingresos: \$563 dólares (3 años), \$715 dólares (7 años)
Producción agrícola	Subcuenca del Río Aguas Calientes, Nicaragua producción de pitahaya								✓			Benegas y otros (2007)	Costo (2 año) \$91 dólares Ingresos: (2 año) \$106 dólares, (7° año) \$147 dólares, \$129-118 dólares (10° año).
Irrigación	Lago Amatitlán Guatemala	✓										Pape e Ixcot (1998)	\$5 millones de dólares/m³/año
Secuestro de carbono y protección de aguas	En EU, Costa Rica y Australia se realiza la conservación y gestión de áreas donde se obtienen servicios específicos mediante la venta de bonos. Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano en Honduras (beneficio económico)	✓										Daily y otros (2000)	\$50 dólares ha/año
Secuestro de Carbono	Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano en Honduras										✓	Barzev (2002)	\$45,74 millones de dólares
Secuestro de carbono	Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano (beneficio económico)										✓	Barzev (2004)	\$0,078 millones dólares/año (bosque conífero); \$0,024 millones de dólares/año (bosque latifoliado)

(Continúa)

(Continuación Anexo)

Servicio ecosistémico	Estudio específico	Método de valoración										Autor(es)	Estimaciones
		Valoración contingente	Costo de viaje	Función de producción	Costos evitados	Análisis de Cluster	Precios hedónicos	Ingreso por turismo	Metaanálisis	Análisis costo-beneficio	Costo de reemplazo		
Fijación y secuestro de carbono	Bosques privados en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, Corinto en <i>Costa Rica</i> .	✓										Segura (1999)	\$42-100 dólares ha/año (fijación de carbono); \$18,3 - \$43,5 dólares TC (servicio ambiental de carbono)
Fijación y secuestro de carbono	Bosques privados en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, Tirimbina en <i>Costa Rica</i>	✓										Segura (1999)	\$46 - 52 dólares ha/año (fijación de carbono); \$20-22,6 TC (Servicio ambiental de carbono)
Almacenamiento de Carbono	Sistemas Agroforestales de Café en la Comarca Yassica Sur, Matagalpa <i>Nicaragua</i>								✓			Suárez (2002)	Escenario 1: \$16,1 TC/año Escenario 2: \$0,6 TC/año Escenario 3: \$15 TC/año
Secuestro de carbono	Valor económico del secuestro de carbono en sistema agrícola en San Miguel Petén en <i>Guatemala</i>									✓		Oliveira (1996)	Tradicional: \$9 135 dólares/año Barbecho mejorado: \$9 831 dólares/año
Fijación de nitrógeno	Valor económico de la fijación de nitrógeno en sistema agrícola en San Miguel Petén en <i>Guatemala</i>									✓		Oliveira (1996)	Tradicional y barbecho mejorado: \$784,74 dólares/año
Recepción de desechos	Lago Amatitlán en <i>Guatemala</i>									✓		Pape e Ixcot (1998)	\$1,7 millones de dólares/año
Extracción de madera	Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano en <i>Honduras</i>									✓		Barzev (2002)	utilidad bruta de \$0,71 dólares/pie tablar; VET, \$837,06 millones de dólares
Extracción de madera	Reserva Natural Cordillera Dipilito - Jalapa en <i>Nicaragua</i> . Volumen anual aprovechable de bosque bienes maderables.								✓			Barzev (2004)	\$0,15 millones de dólares/año
Residuos	Residuos de aserraderos en <i>Costa Rica</i>								✓			Higuera y otros (1998)	\$0,22 millones de dólares
Servicios: Regulación hídrica, protección de la biodiversidad, fijación de carbono y Belleza escénica	Bosque Comunal Torcuntín en <i>Honduras</i>								✓			Talavera (2002)	\$87,5 dólares/año
Bienes maderables	Zona norte Atlántica de <i>Costa Rica</i>									✓		Corella (2009)	VET: mayor a \$5 220 dólares/ha y menor a \$13 920 dólares/ha PSA, \$81 6/5 años Protección de bosques: \$320 ha/años
Bienes no maderables	Reserva Natural Cordillera Dipilito - Jalapa en <i>Nicaragua</i> . Volumen anual aprovechable de bosque bienes no maderables.								✓			Barzev (2004)	\$0,06 millones de dólares/año (leña); \$1 542 dólares/año (resina); \$2 174 dólares/año (carbón)
Bienes no maderables	Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano en <i>Honduras</i> . Madera									✓		Barzev (2002)	\$620,50 dólares/familia; \$4,59 millones de dólares/año
Bienes no maderables	Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano en <i>Honduras</i> . Madera								✓			Barzev (2002)	\$109 dólares/familia; \$0,81 millones de dólares/año

(Continúa)

(continuación Anexo)

Servicio ecosistémico	Estudio específico	Método de valoración										Autor(es)	Estimaciones
		Valoración contingente	Costo de viaje	Función de producción	Costos evitados	Análisis de Clúster	Precios hedónicos	Ingreso por turismo	Metaanálisis	Análisis costo - beneficio	Costo de reemplazo		
SERVICIOS CULTURALES													
Recreación	Desarrollo de Volcán Barva en Costa Rica	✓										Hearne y Salinas (2002)	\$3,31 dólares/turista extranjero, \$2,0 dólares/ turista nacional
Recreación	Parque Nacional Braulio Carrillo Costa Rica							✓				Jouanno y otros (2009)	\$0,011 millones de dólares ingreso nacional \$0,92 millones de dólares ingresos locales. \$0,096 millones de dólares de influencia local Ingreso regional \$0,46 millones dólares
Recreación	Parque Nacional Tepanti en Costa Rica	✓										Alpízar, Carlsson y Naranjo (2007)	\$0,6 millones de dólares/año
Recreación	Protección de las oportunidades de recreación en tres parque nacionales, Costa Rica	✓										Chase, Randhawa y Lawson (1988)	\$21.60–24.90 dólares/visitante
Recreación	Ecoturismo en Costa Rica			✓								Fürst y otros (2004)	\$3.3 millones de dólares/año (2002)
Recreación	Turismo ecológico en Costa Rica							✓				Inman (1998)	\$381 000 millones de dólares
Recreación	Turismo y ecoturismo basado en usos no consuntivos de la vida salvaje en Costa Rica							✓				Tobias y Mendelsohn (1991)	\$1.2 millones de dólares/ha
Recreación	Recreación en Parque Nacional Cahuita, Costa Rica							✓				Fürst y otros (2004)	\$ 0,043 millones de dólares
Recreación	Recreación en Parque Nacional Volcan Poas, Costa Rica							✓				Fürst y otros (2004)	\$0,037 millones de dólares
Recreación	Reserva Natural Cerro Musún, Rio Blanco y Matagalpa en Nicaragua							✓				Bolaños y Lumbi (2004)	\$0,027 millones de dólares en inversión; \$47 dólares por persona
Recreación	Reserva Natural Cerro Musún, Rio Blanco y Matagalpa en Nicaragua	✓										Bolaños y Lumbi (2004)	\$0,035 millones de dólares (nacionales); \$ 0,04 millones de dólares (extranjeros)\VET \$36 288 millones de dólares.
Recreación	Beneficios obtenidos por turismo extranjero en Costa Rica		✓									Menkhaus y Lober (1996)	\$1 150 dólares/persona/viaje
Recreación	Bosque Comunal Toncuntín en Honduras	✓										Talavera (2002)	\$27.4/ha/año; \$4 dólares/visitante extranjero
Recreación	Región II de Nicaragua,	✓										Windevoxhel (1992)	\$0,25 millones de dólares/año Beneficio: \$1,45 millones de dólares
Recreación	Lago Cachi en Cartago, Costa Rica	✓										Sena Jr (1997)	\$0,47 millones de dólares
Recreación	Lago Cachi en Cartago, Costa Rica		✓									Sena Jr (1997)	\$5.5 millones de dólares

(Continúa)

(Continuación Anexo )

Servicio ecosistémico	Estudio específico	Método de valoración										Autor(es)	Estimaciones
		Valoración contingente	Costo de viaje	Función de producción	Costos evitados	Análisis de Clúster	Precios hedónicos	Ingreso por turismo	Metaanálisis	Análisis costo - beneficio	Costo de reemplazo	Mercado	
Recreación	Ecoturismo en el volcán San Pedro, <i>Guatemala</i>	✓										López (1998)	\$4,87 dólares turistas extranjeros y \$1,25 dólares turistas nacionales Escenario b: \$3,09 dólares extranjeros, \$2,58 dólares nacionales Ingresos potenciales: \$0,25 a 0,49 millones de dólares Escenario b: \$0,17 millones de dólares \$0,34 millones de dólares/año
Recreación	Ecoturismo en Parque Nacional Montaña de Celaque, <i>Honduras</i>	✓										Cid Ramírez (2001)	\$7,57 dólares turistas extranjeros \$2,54 dólares turistas nacionales
Belleza escénica	Parque Nacional El Imposible en <i>El Salvador</i>							✓				Rosa, Herrador y González (1999)	\$2,84 dólares/turista
Belleza Escénica	Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano en <i>Honduras</i> "Ceibas",	✓										Barzev (2002)	\$0,45 millones de dólares/año (nacionales), \$1,11 millones de dólares/año (extranjeros) en Ceibas, \$1,47 millones de dólares/año (nacionales), \$3,44 millones de dólares/año (extranjeros) en Tegucigalpa.
Recreación y belleza escénica	Reserva Natural Cordillera Dipilto – Jalapa en <i>Nicaragua</i>	✓										Barzev (2004)	\$0,16 millones de dólares/año
Turismo doméstico	Turismo en el Bosque Nebuloso Monteverde, <i>Costa Rica</i>		✓									Tobias y Mendelsohn (1991)	\$35 dólares/familia
Valor de existencia	Valoración de existencia para el Lago Amatitlán en <i>Guatemala</i>	✓										Pape e Ixcot (1998)	\$2,5 millones de dólares/año
VALUACIÓN DE ESPECIES													
	Pescado guapote, tilapia y caracoles ( <i>Guatemala</i> )										✓	Pape e Ixcot (1998)	\$1,87 dólares en promedio
	Aves acuáticas ( <i>Guatemala</i> )	✓										Pape e Ixcot (1998)	\$4,69 a 6,26 dólares por ave
	Conservación de las aves acuáticas migratorias en el corredor central	✓										Desvousges y otros (1993)	\$59–71 dólares

Nota: Tipo de cambio Guatemala: US\$1 = Q6,3947 al 31 diciembre 1998; El Salvador: US\$1 = C8,8 a 1999; Costa Rica: US\$1=C244,53 al 31 diciembre 1997; 1C= US\$ 0,00218 a diciembre 2004; C1= US\$0,00174 a julio de 2009; Honduras: US\$1=9,43 en 1995. Fuentes: Banco Central de Costa Rica, Banco de México, Banco Central de Honduras. VET= Valor Económico Total, DAP = Disposición a Pagar.

Unidades: t/ha unidades = rendimiento toneladas por hectárea; TC = Toneladas de Carbono.

Fuente: Elaboración propia.

## 7. EVENTOS EXTREMOS

### 7.1 INTRODUCCIÓN

El Cuarto Reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático señala que el incremento de la temperatura media del planeta, como resultado de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), es inequívoca (IPCC, 2007d). Sus proyecciones estiman que al 2100 la temperatura media podría incrementarse en un rango de 1,8 °C a 4 °C, lo cual afectará la variabilidad del clima a nivel global. Entre los principales efectos esperados destaca el aumento de eventos extremos tales como: tormentas, huracanes, inundaciones, sequías y abundantes precipitaciones. Investigaciones recientes confirman que en la últimas tres décadas la frecuencia y la intensidad de estos eventos se ha incrementado respecto a las primeras décadas del siglo XX (Meehl y otros., 2007; Emanuel, 2005; Pielke Jr., y otros, 2003; Raghavan y Rajesh, 2003; Milly, y otros, 2002; Stern, 2007).

Una segunda vertiente de las investigaciones se ha orientado a estimar los costos económicos asociados a los impactos de tales eventos (Freeman, Keen y Mani, 2003; Skidmore y Toya, 2002; Sadowski y Sutter, 2005; Kellenberg y Mobarak, 2008; Baritto, 2009; Crompton y McAneney, 2008). Los estudios concluyen que los países en desarrollo han recibido los mayores impactos en las últimas dos décadas y que los países con ingreso per cápita menor a los 4.000 dólares han tenido el mayor número de muertes por estas causas (Freeman, Keen y Mani, 2003; Crompton y McAneney, 2008). De acuerdo con los escenarios proyectados, los países de Centroamérica tienen mayor probabilidad de sufrir la ocurrencia de tales eventos.

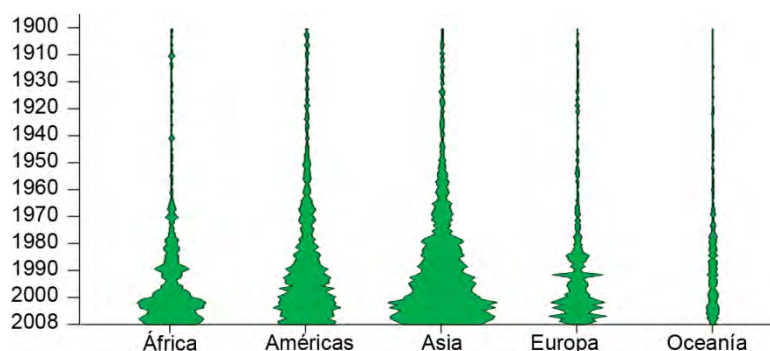
Entre 1970 y 2002, las pérdidas económicas causadas por los desastres en Centroamérica han superado los 10.000 millones de dólares, lo que equivale a la pérdida de 318 millones de dólares anuales en el período (SICA y CEPREDENAC, 2010). El crecimiento poblacional, la pobreza y un ordenamiento territorial improvisado han llevado a la población a asentarse en zonas propensas a inundaciones o sequías, incrementando así el potencial de los daños. La deforestación combinada con el sobreuso de la tierra, particularmente en áreas de alta precipitación, han acelerado la erosión, la evapotranspiración y la sedimentación fluvial, condiciones que han aumentado la propensión a inundaciones y deslizamientos de tierra (Duran, 1999; MARENA, 2004). Según una estimación, cerca del 75% del incremento de la escorrentía de la región está directamente asociado a la deforestación (Uribe y otros, 1999).

Los riesgos asociados al cambio climático en la región son elevados, pues su exposición geoclimática la coloca en situación de vulnerabilidad considerable, al tiempo que los asentamientos humanos y las actividades productivas elevan su nivel de riesgo. El objetivo del presente capítulo es estimar los impactos de eventos extremos en el contexto del cambio climático para los países de la región. La ocurrencia de tormentas y huracanes no puede ser evitada, pero dados los escenarios de probable mayor intensidad, conviene estimar sus potenciales costos económicos con el propósito de contribuir a la toma de decisiones para prevenir y reducir los impactos en la medida de lo posible.



El gráfico 7.1 muestra la mayor frecuencia de desastres a partir de aproximadamente 1980 a la fecha, siendo los continentes de América y Asia los que acumulan el mayor número. En los dos continentes americanos, el 70% de los desastres ha estado asociado a eventos climatológicos, principalmente tormentas y huracanes.

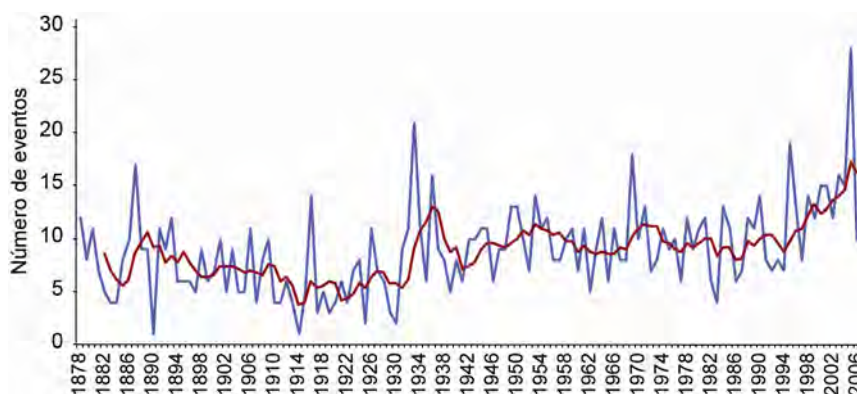
**GRÁFICO 7.1**  
**CONTINENTES: NÚMERO DE DESASTRES REPORTADOS, 1900-2008**  
(En número de desastres registrados por año)



Fuente: CRED; 2009.

De acuerdo con el Cuarto Reporte del IPCC, en nueve de los diez años del período 1995-2005 la cantidad de huracanes en el Atlántico Norte aumentó por encima de la tendencia histórica registrada en 1981-2000 (IPCC, 2007f). Las sequías también han sido más intensas, principalmente en los trópicos y subtrópicos a partir de 1970. La actividad ciclónica en las latitudes medias también se ha incrementado en los últimos cuarenta años (Nakamura, Izumi y Sampe, 2002). El gráfico 7.2 presenta una serie de tiempo del registro de huracanes y tormentas (HURDAT) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) para el Océano Atlántico desde 1878 hasta 2006, la cual registra una enorme volatilidad, con un aumento de tormentas y huracanes en las últimas dos décadas, aunque no hay claridad de que sea una tendencia fuera de la tendencia histórica (Hegerl y otros, 2007; Vecchi y Knutson, 2008).

**GRÁFICO 7.2**  
**OCÉANO ATLÁNTICO NORTE: NÚMERO DE HURACANES, TORMENTAS TROPICALES Y SUBTROPICALES, 1878-2006**  
(En número de eventos por año (azul) y promedio móvil de cinco años de los eventos (roja))

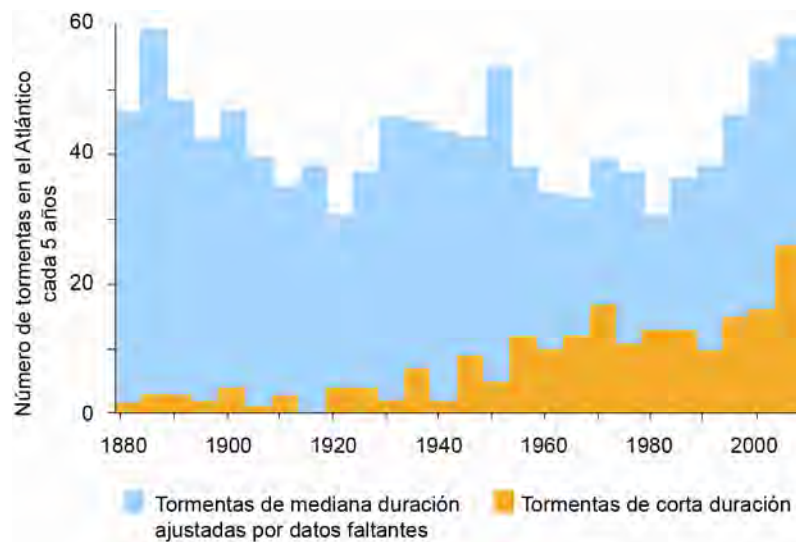


Fuente: elaboración propia con base en HURDAT (NOAA, 2010b).

El Cuarto Reporte del IPCC (2007d) cita dos resultados de investigación interesantes: que no hay evidencia clara de aumento en la frecuencia de ciclones y tormentas tropicales asociable al cambio climático, cuando menos hasta finales de los noventa, pero sí de su intensidad. Múltiples factores influyen en la frecuencia de estos eventos y la resolución espacial de los modelos de clima utilizados no permite su simulación detallada, de modo que las proyecciones presentan un elevado grado de incertidumbre. Los resultados de estos modelos sugieren que ante un aumento de las concentraciones de GEI, el número de huracanes disminuye, aunque su intensidad aumenta.

El gráfico 7.3 muestra que, en tanto que la frecuencia de las tormentas tropicales de corta duración (menos de dos días) en el océano Atlántico ha aumentado, sobre todo desde 1960, las de duración moderada presentan una posible fluctuación multidecadal, habiendo cambiado su trayectoria a partir de 1980. La relación entre frecuencia de eventos y cambio climático podrá identificarse cuando se aclare si el patrón de frecuencia sale de su oscilación histórica en las próximas décadas.

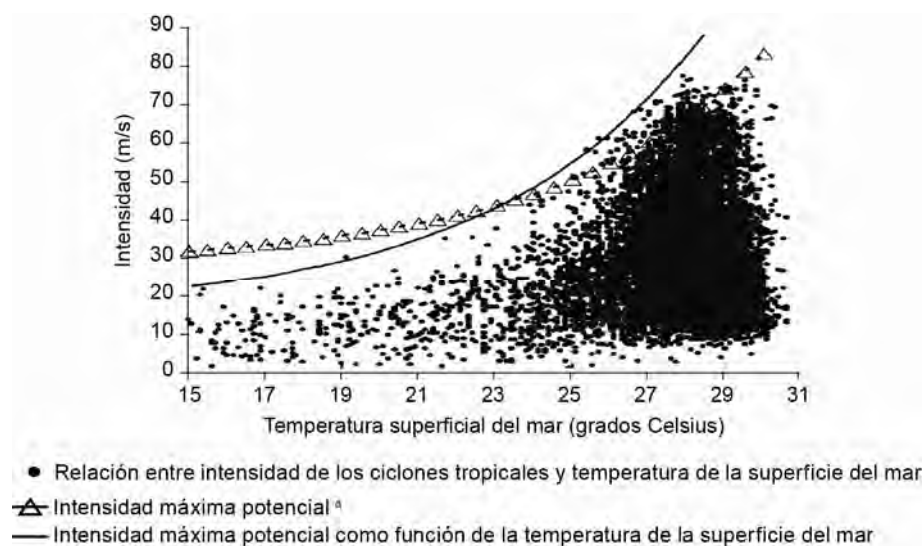
**GRÁFICO 7.3**  
**OCEANO ATLÁNTICO: NÚMERO DE TORMENTAS SEGÚN DURACIÓN**  
**(MODERADA Y CORTA), 1878-2006**  
(En número de tormentas cada cinco años por duración moderada (celeste) y corta (naranja))



Fuente: NOAA, 2010b.

Respecto a la relación entre intensidad de eventos y cambio climático, la evidencia es más sólida. Se estima que los océanos han absorbido alrededor de 20 veces más calor que la atmósfera durante el último medio siglo, provocando temperaturas más altas en aguas superficiales y profundas (Barnett y otros, 2005; Levitus, Antonov y Boyer, 2005). Ambos factores contribuyen a la mayor intensidad de ciclones tropicales sobre el océano (Hansen, 2005). Esta hipótesis se sustenta en investigaciones que identifican una relación positiva entre la intensidad de los ciclones tropicales y la temperatura superficial de los océanos (Emanuel, 1987; Holland, 1997; Henderson-Sellers y otros, 1998). Zeng, Wang y Wu (2007) establece esta correlación entre la intensidad de los ciclones, medida en metros por segundo (m/s), con la temperatura superficial del océano Pacífico Norte (véase el gráfico 7.4).

**GRÁFICO 7.4**  
**OCEANO PACÍFICO: INTENSIDAD DE CICLONES Y TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR**  
*(Intensidad por metros por segundo y temperatura por centígrados)*



Nota: <sup>a</sup> De acuerdo con DeMaría y Kaplan (1994).

Fuente: Zeng, y otros (2007).

Otra vertiente de investigación comprende los estudios basados en modelos de clima con escenarios de emisiones globales de CO<sub>2</sub>e y su impacto en la temperatura de los océanos, de donde derivan estimaciones del cambio en la intensidad de los huracanes y tormentas. Henderson-Sellers y otros (1998) calculan que si el nivel de emisiones del año 1990 al 2080 se duplicara, el potencial de intensidad de los ciclones aumentaría en un rango del 10% al 20%. Knutson y Tuleya (1999) estiman un aumento del 5% al 11% en la intensidad de tifones en la región del Pacífico Norte por incrementos elevados de emisiones de CO<sub>2</sub>. Knutson y otros (2001) calculan que un aumento de la temperatura de 2,3 °C a 2,8 °C en la superficie de los océanos por emisiones de CO<sub>2</sub> aumentaría la intensidad de los vientos entre un 3% y un 10%. Shen, Tuleya y Ginis (2000) estiman que la mayor intensidad de los huracanes por el posible calentamiento de la atmósfera por aumento de CO<sub>2</sub> sería menor que la producida por el calentamiento de los océanos. Bengtsson y otros (2007) estiman que la velocidad máxima del viento podría aumentar entre un 6% y un 8% en el presente siglo, considerando un aumento del 1% anual de las emisiones de CO<sub>2</sub> en los próximos 80 años.

**RECUADRO 7.1**  
**ESFUERZO RECIENTE DE ESTIMAR CAMBIOS EN INTENSIDAD Y FRECUENCIA DE HURACANES**

El Laboratorio Geofísico de Dinámicas de Fluidos (*GFDL* por sus siglas en inglés) exploró el planteamiento de los estudios que sugieren que la frecuencia de ciclones tropicales en el Atlántico podría reducirse con el cambio climático, aunque sin reproducir ciclones de categorías de 3 a 5. El laboratorio usó datos de 18 modelos climáticos globales para alimentar un modelo regional y simular épocas de huracanes completas y después empleó dos versiones de su propio modelo de predicción de huracanes para simular de nuevo los huracanes simulados por el modelo regional (Bender y otros, 2010). Su simulación del escenario global de emisiones A1B del IPCC compara los períodos de los años 2001 a 2020 con el de los años 2081 a 2100, y usa los modelos ECHAM5 (*Max Planck Institute*),

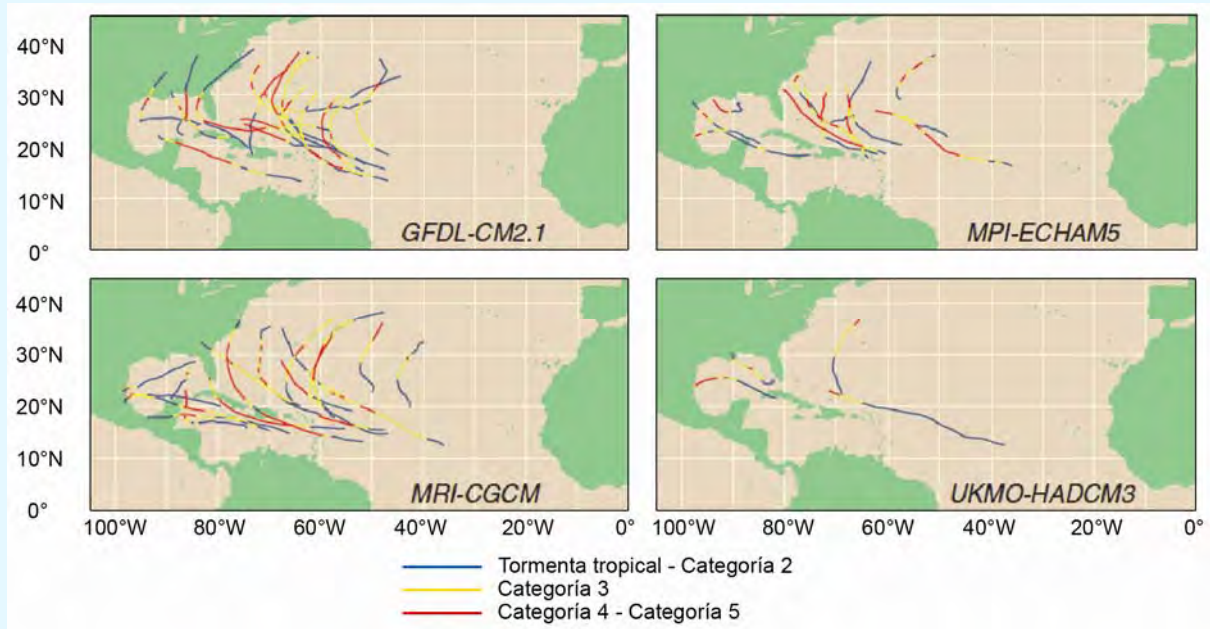
(Continúa)

(Continuación Recuadro 7.1)

HadCM3 (*Hadley Centre*), GFDLCM2.1 y MRI-CGCM. (Los primeros tres son modelos utilizados en este estudio y el último es de la familia MIROC).

Los resultados de la simulación con los modelos GFDLCM2.1 y ECHAM5 indican que se espera un incremento en el número de huracanes de categoría 4 y 5 hasta un 110% y una reducción entre el 8% y el 24% del número total de huracanes. El HadCM3 sugiere una reducción en todas las categorías, posiblemente porque predice aumentos en cizalladura del viento (*"wind shear"*) en la mayor parte del Atlántico al sur de los 22 grados N y en intensidad al sur de 25 grados N. Considerando las incertidumbres, los resultados sugieren que un aumento significativo del calentamiento global probablemente aumentará la frecuencia de huracanes de gran intensidad a partir de 2050, los cuales provocarían mayores pérdidas y daños al alcanzar las costas.

#### TRAYECTORIA SIMULADA DE LOS HURACANES Y TORMENTAS TROPICALES CON ESCENARIO A1B



Fuente: Bender y otros (2010).

Las principales tendencias observadas en huracanes y tormentas señalan que:

- Aún no existe seguridad de una tendencia ascendente del número de tormentas y huracanes a nivel global asociada al cambio climático. Desde finales de los noventa se observa un aumento del número de huracanes y tormentas en el Atlántico Norte, pero podría ser parte de un ciclo multidecadal histórico o de un aumento de la variabilidad del número de eventos registrados en diferentes años.
- Existe evidencia de un aumento en la intensidad de huracanes y tormentas desde la década de los ochenta y existe una correlación entre la temperatura superficial de los océanos y la intensidad de las tormentas y huracanes.

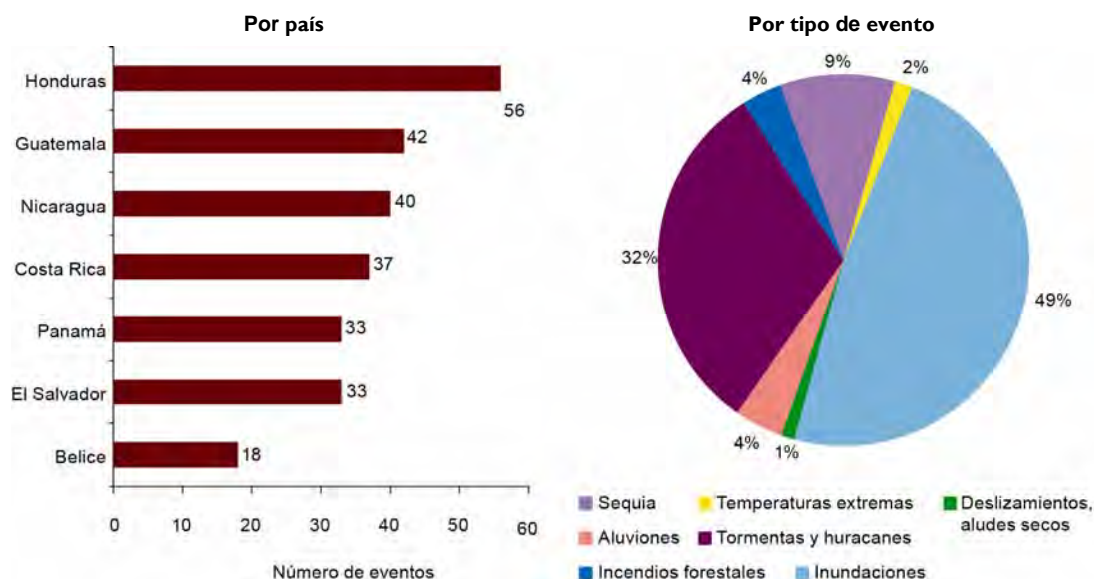


## 7.2 TENDENCIAS DE EVENTOS EXTREMOS CLIMÁTICOS

En este estudio se eligió reportar las tendencias históricas utilizando la base de datos del EM-DAT porque contiene información homogénea de todos los países de la región en un mismo período<sup>1</sup>. Así, en Centroamérica se han registrado 259 eventos extremos asociados a fenómenos climáticos e hidrometeorológicos entre los años 1930 y 2009, siendo Honduras el país con mayor cantidad (56) y Belice el que registra menos (18) (véase el gráfico 7.5). Por origen, los eventos más recurrentes son los hidrometeorológicos (inundaciones, tormentas, deslizamientos y aluviones), que representan casi el 85% de los eventos totales. Un 10% corresponde a sequías, un 3% a incendios forestales y sólo un 2% a temperaturas extremas, principalmente bajas.

**GRÁFICO 7.5**  
**CENTROAMÉRICA: DISTRIBUCIÓN DE LOS EVENTOS EXTREMOS CLIMÁTICOS,**  
**1931 A 2009**

(En número y porcentaje de eventos registrados)



Fuente: Elaboración propia con base en EM-DAT (CRED, 2009).

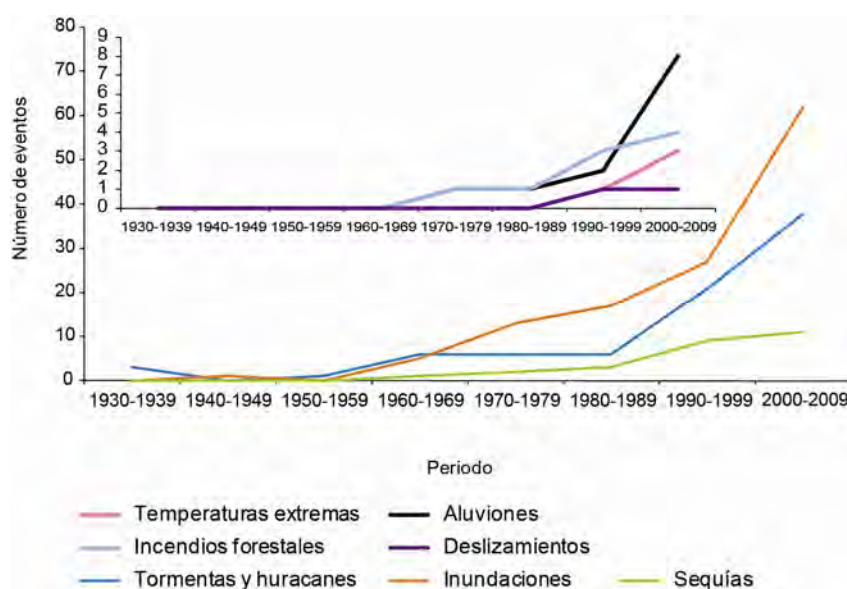
A escala temporal se observa un incremento sostenido del número de eventos, especialmente a partir de la década de los sesenta, con una acumulación importante entre los años 1990 y 2009. Por tipo de eventos, las inundaciones y las tormentas también muestran un incremento sostenido. Los deslizamientos y las temperaturas extremas comienzan a manifestar una tendencia creciente en los años recientes, igual que las sequías y los incendios forestales a partir de los años noventa (véase el gráfico 7.6). Como se observa, los eventos que se abaten más sobre la región son las tormentas y las inundaciones, las cuales han aumentado de manera importante en las últimas cuatro décadas. Por lo tanto, el análisis que sigue se concentra en ellos. Los

<sup>1</sup> EM-DAT es la base de datos sobre desastres más completa a nivel internacional con registros desde el año 1900 al 2009. Registra eventos que produjeron diez o más muertos, 100 o más personas afectadas, la declaración de estado de emergencia en un país determinado o la necesidad de ayuda internacional. No es la definición de fenómeno meteorológico extremo del IPCC. Existen otras bases en construcción, como DesInventar, la cual incluye eventos de menor escala para algunos países de la región pero carece de información de periodos amplios para otros.



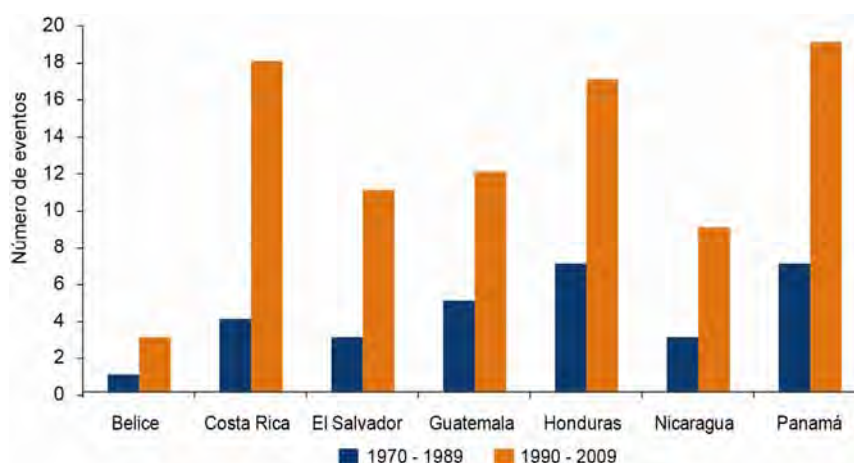
eventos más frecuentes en la región son las inundaciones. El gráfico 7.7 las presenta por país en los periodos 1970-1989 y 1990-2009. En las últimas dos décadas las inundaciones han crecido más del doble en todos los países respecto al período anterior. Los países con mayor número de inundaciones son Costa Rica, Honduras y Panamá, mientras que El Salvador, Guatemala y Nicaragua mantienen una frecuencia intermedia.<sup>2</sup>

**GRÁFICO 7.6**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LOS EVENTOS EXTREMOS REGISTRADOS, 1930 A 2009**  
(En número de eventos registrados por tipo de evento)



Fuente: Elaboración propia con base en EM-DAT (CRED, 2009).

**GRÁFICO 7.7**  
**CENTROAMÉRICA: NÚMERO DE INUNDACIONES REGISTRADAS EN DOS PERÍODOS, 1970-1989 Y 1990-2009**  
(En número de eventos)

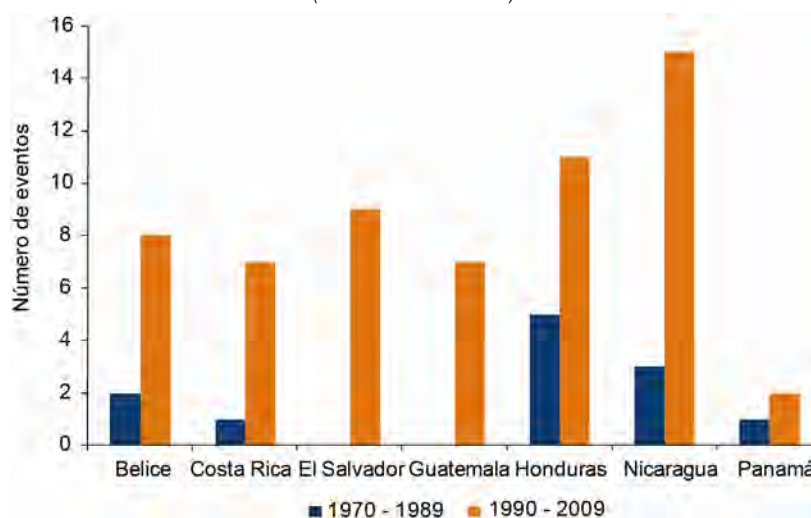


Fuente: Elaboración propia con base en EM-DAT (CRED, 2009).

<sup>2</sup> En la base de DesInventar (DesInventar, 2008), El Salvador registra 151 inundaciones en el periodo 1970-1989 y 1,185 en el periodo 1990-2010. Esta cifra es diferente al de EM-DAT ya que incluye eventos menores que no se han registrado en esta base.

El gráfico 7.8 muestra las tendencias de tormentas y huracanes registradas en los dos períodos de referencia. Nicaragua tiene el registro más alto en el segundo período con 15 eventos. El resto muestra un promedio de siete a ocho eventos, es decir, una tormenta tropical o un huracán cada tres años. Sobresalen El Salvador y Guatemala, los cuales no tuvieron este tipo de eventos en el primer período, pero en el segundo tuvieron el mayor aumento. Belice y Costa Rica registran un número muy bajo en el primer período y un incremento importante en el segundo. Panamá es el único con incidencia mínima, aunque muestra un ligero aumento en el segundo período. Si bien la tendencia es ascendente y compatible con las observadas a nivel global, podría obedecer a otros factores como un ciclo histórico o a una fase de volatilidad.

**GRÁFICO 7.8**  
**CENTROAMÉRICA: NÚMERO DE TORMENTAS TROPICALES Y HURACANES REGISTRADOS**  
**EN DOS PERÍODOS,**  
**1970-1989 Y 1990-2009**  
*(En número de eventos)*



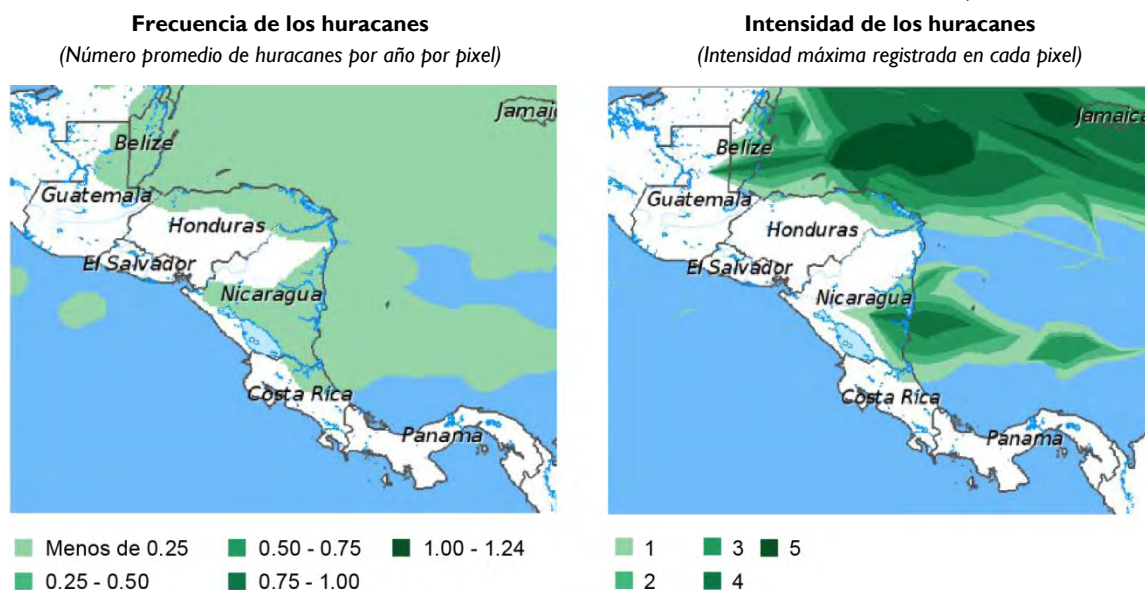
Fuente: Elaboración propia con base en EM-DAT (CRED, 2009).

Respecto a la distribución espacial de los eventos ciclónicos, hay una configuración relativamente identificable de territorios de riesgo, que es importante considerar en las propuestas para enfrentar el cambio climático. En el caso de los ciclones tropicales entre 1977 y 2006, se observa que los territorios más expuestos abarcan casi la totalidad de la costa del Caribe o costa atlántica, la totalidad del territorio de Belice, una gran parte de Honduras y Nicaragua y la parte norte de Costa Rica. En caso de que la frecuencia o la intensidad de tormentas tropicales y huracanes se incrementen, Belice sería el más expuesto, seguido por Honduras y Nicaragua.

En cuanto a la intensidad de los fenómenos en el período 1977-2006, el sur de Belice y Nicaragua son las zonas donde se han registrado las mayores intensidades (entre 3 y 5). Por lo tanto, ambos países podrían sufrir los efectos más negativos de un aumento en la intensidad de huracanes. Las intensidades en la costa norponiente de Honduras oscilan entre 2 y 3. A pesar de la incertidumbre sobre los escenarios futuros, es posible prever que los territorios de la costa atlántica seguirán siendo los más expuestos (véase el mapa 7.1). Sin embargo, los huracanes del Caribe inducen o jalan la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) hacia el norte de

Centroamérica, la cual provoca “temporales” (serie de días con lluvias intensas o con acumulados altos), generando inundaciones y deslizamientos en zonas más amplias que las afectadas directamente por un huracán.

**MAPA 7.1**  
**CENTROAMÉRICA: UBICACIÓN ESPACIAL DE RIESGOS DE LOS HURACANES, 1977-2006**



Nota: Solamente disponible para ciclones tropicales de categoría 1 en escala Saffir-Simpson.

Nota: Escala Saffir-Simpson

Fuente: PNUMA, PNUD, EIRD y Banco Mundial, 2010.

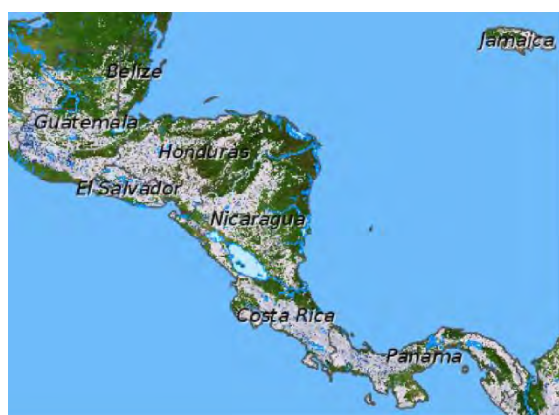
Los patrones de inundaciones más recurrentes y abundantes se presentan en los territorios de inundación natural: las riberas de los ríos, las zonas bajas y las zonas costeras. Las mayores inundaciones han ocurrido a lo largo de la costa y buena parte del norte de Belice. Las costas y los territorios circundantes a ríos y lagos de Guatemala presentan una recurrencia similar. El Salvador muestra un patrón de riesgo muy claro en la costa y particularmente en los territorios ribereños del río Lempa en todo su trayecto. El patrón de riesgo por inundaciones de Honduras se concentra en ambas costas. Nicaragua presenta dos territorios significativos de riesgo (TSR) por inundaciones: la región costera y surponiente de la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN) y la zona costera de Chinandega. Las inundaciones extremas de Costa Rica afectan principalmente los territorios de Guanacaste y el norte de las provincias de Alajuela, Heredia y Limón. Panamá es el país con la menor incidencia de inundaciones extremas. Su territorio más expuesto es una franja de la provincia de Darién (PNUMA, PNUD, EIRD y Banco Mundial, 2010).

Los deslizamientos causados por precipitaciones cobran mayor importancia de la que normalmente se les asigna cuando se analizan series históricas largas. El mapa 7.2 ilustra que más del 80% del territorio centroamericano está expuesto a este riesgo. Los TSR por deslizamientos coinciden ampliamente con las zonas deforestadas o en proceso de deforestación. El riesgo por deslizamientos se concentra en el centro y sur de Guatemala. El Salvador, con solamente un 10% de su superficie

aun con bosque, presenta un riesgo sumamente alto. En el mapa se observa que prácticamente todo su territorio está expuesto, con intensidades alta y muy alta en alrededor de la mitad de él.

En Honduras los TSR por deslizamientos se concentran en el centro y suroeste del país. En Nicaragua se concentran en los departamentos de Jinotega, Matagalpa, Chinandega y el resto de la costa pacífica. Casi todo el territorio de Costa Rica, salvo las partes norte de las provincias de Limón, Heredia y Alajuela, está expuesto a deslizamientos de intensidad entre media y muy alta. Casi todo Panamá está expuesto al mismo riesgo con magnitudes variables, salvo los territorios de Herrera y pequeñas porciones de Colón, Panamá, Los Santos y Darién. En Belice sólo los territorios del oeste están expuestos a riesgos de intensidad baja y muy baja (PNUMA, PNUD, EIRD y Banco Mundial, 2010).

**MAPA 7.2**  
**CENTROAMÉRICA: UBICACIÓN ESPACIAL DE RIESGOS POR DESLIZAMIENTOS**  
**Riesgo por deslizamiento de tierra**  
*(Escala de intensidad y frecuencia)*



■ Muy alto    ■ Medio  
 ■ Alto      ■ Bajo

**Cobertura de bosques 2007**  
*(Tipos de bosque)*



■ Bosque cerrado  
 ■ Bosque mosaico  
 ■ Bosque Inundado

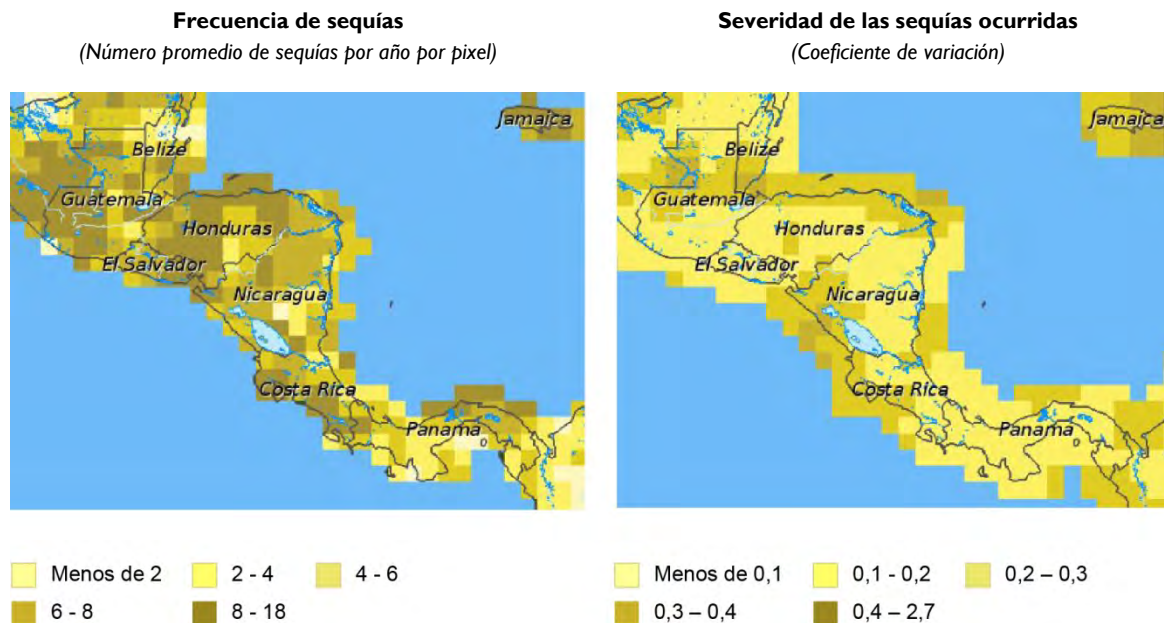
Nota: Desprendimiento de tierras por precipitación.  
 Fuente: PNUMA, PNUD, EIRD y Banco Mundial, 2010.

En cuanto a sequías, prácticamente no hay porción de Centroamérica que en los últimos treinta años no las haya sufrido. Además, existe un corredor de zonas severamente afectado por la sequía en la vertiente del Pacífico, que cruza todos los países y tiene alta vulnerabilidad (MARENA, 2001; Ramírez, 1983; CEPAL, 2002). Entre los años 1974 y 2004, la mayor concentración de eventos se ha registrado en Guatemala, Honduras, Nicaragua, la costa pacífica de Costa Rica y la costa atlántica de Panamá. Las sequías más severas han ocurrido en los territorios de Alta Verapaz y parte de El Petén en Guatemala, el norte del departamento de Cortés y la parte norponiente de Gracias a Dios en Honduras, el departamento de Rivas en Nicaragua y el norte de la provincia de Guanacaste en Costa Rica (véase el mapa 7.3). Las sequías se asocian ampliamente con procesos de degradación ambiental, los que, combinados con condiciones climáticas adversas, incrementan su recurrencia y sequedad. Fenómenos como El Niño suelen causar daños y pérdidas considerables en todos los países de la



región, lo que podría intensificarse en el corto plazo por los efectos ya pronosticados del cambio climático (PNUMA, PNUD, EIRD y Banco Mundial, 2010).

**MAPA 7.3**  
**CENTROAMÉRICA: UBICACIÓN ESPACIAL DE SEQUÍAS, 1974-2004**



Nota: Calculado en función del índice estandarizado de precipitación de 6 meses (SPI6). La definición de sequía es: evento de tres meses consecutivos de duración con menos del 50% de precipitación comparado con el promedio de 1980-2001.

Nota: Medida de la variabilidad de las precipitaciones en relación con la precipitación media climatológica de 1980-2001.

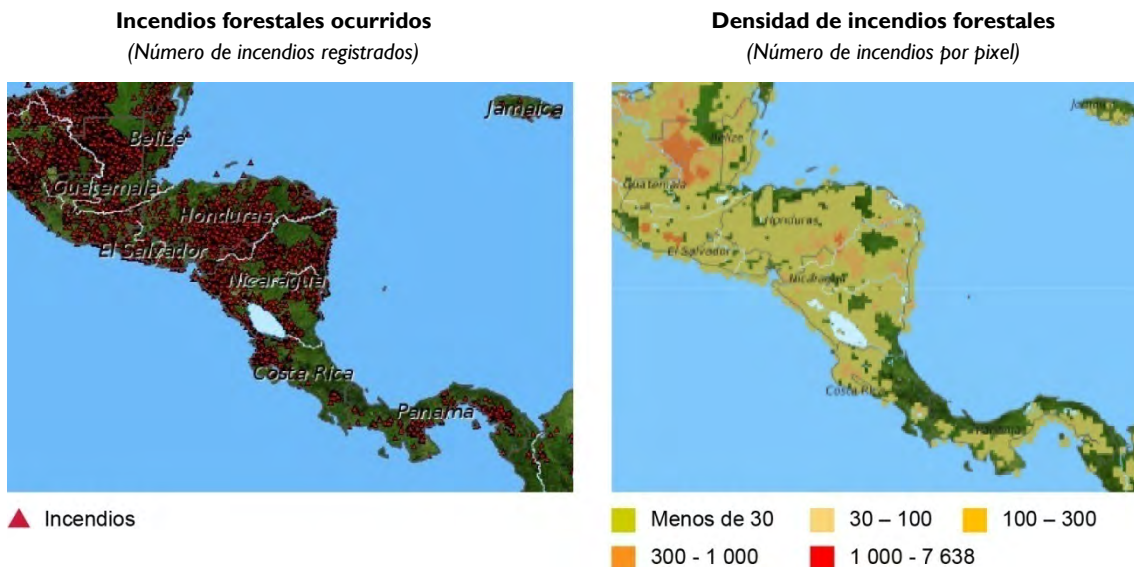
Fuente: PNUMA, PNUD, EIRD y Banco Mundial, 2010.

Gran parte de los incendios forestales de la región se debe a causas antrópicas<sup>3</sup>, pero los largos períodos de sequía y altas temperaturas en el estiaje incrementan las condiciones propicias para que se produzcan. En una escala temporal más amplia se observa que los países del norte (Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua) son los que registran el mayor número de eventos y las más altas densidades (véase el mapa 7.4). Los territorios más expuestos son El Petén y Alta Verapaz y, en menor medida, algunas zonas de los departamentos de Santa Rosa, Escuintla y Suchitepeque en Guatemala y la zona limítrofe de los departamentos de Olancho en Honduras y Jinotega en Nicaragua.

<sup>3</sup> Estudios de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo establecen que las principales causas de los incendios forestales son: las prácticas agropecuarias, la quema de basura, los cazadores y colmeneros, los fumadores, problemas de tenencia de la tierra e incendios intencionales (CCAD, 2005a).



**MAPA 7.4**  
**CENTROAMÉRICA: UBICACIÓN ESPACIAL DE INCENDIOS FORESTALES, 1997 A 2008**



Nota: Detectados por European Space Agency (ESA) / Along Track Scanning Radiometer (ATSR).

Fuente: PNUMA, PNUD, EIRD y Banco Mundial, 2010.

La organización *German Watch* ha establecido un índice de riesgo climático global que califica el impacto de los eventos (tormentas, inundaciones, sequías, etc.) sobre los países. Con base en el número absoluto de muertos, número de muertos por cada 100 mil habitantes, pérdidas totales en dólares y pérdidas en proporción del Producto Interno Bruto (PIB), el índice crea un *ranking* de 177 países. El país con el número más bajo es el más vulnerable. Los resultados para 1998 a 2007 indican que los países menos desarrollados son los más afectados. Los datos muestran que Honduras es el país con el resultado 1, Nicaragua 3, Guatemala 11, El Salvador 30 y Belice 34 (Anemüller, Monreal y Bals, 2006).

En resumen, las tendencias principales de eventos extremos en Centroamérica relevantes para la estimación de escenarios futuros son las siguientes:

- La región es afectada principalmente por inundaciones, pero la frecuencia de huracanes y tormentas tropicales se ha incrementado en las últimas dos décadas respecto a los registros históricos.
- Las tormentas tropicales y los huracanes han causado el mayor número de víctimas, casi el doble que las causadas por inundaciones.
- La frecuencia de las inundaciones se ha duplicado en las últimas dos décadas respecto al período 1970-1989 según EM-DAT. Los países con mayor número de eventos son Honduras, Costa Rica y Panamá con casi una inundación por año. El Salvador y Guatemala también registran una alta frecuencia de este tipo de eventos.
- La frecuencia de huracanes y tormentas tropicales se ha incrementado 4,5 veces en la región las últimas dos décadas. El mayor número de tormentas tropicales ha caído sobre Nicaragua.
- Una mayor frecuencia de huracanes en el Caribe podría provocar que la ZCIT se desplace hacia el norte con mayor frecuencia, generando más temporales, inundaciones y deslizamientos.

### **RECUADRO 7.2 EL NIÑO-OSCILACIÓN SUR (ENOS)**

Originalmente, El Niño se refirió a flujos de corriente cálida a lo largo de las costas de Ecuador y Perú en enero, febrero y marzo, y a su impacto meteorológico local. Su segundo nombre, ENOS (El Niño-Oscilación Sur), se refiere a los eventos de la mitad del Pacífico hasta la costa de Sudamérica, tomando en cuenta la oscilación irregular de la presión entre el Pacífico oriental y el Pacífico occidental (Palca, 1986). La tradición atribuye a los pescadores de la costa del desierto de Sechura (Piura, Perú) haberle dado el nombre original en este siglo por su recurrente aparición en las proximidades de Navidad.

El ENOS es un fenómeno cíclico que provoca estragos a nivel mundial, con mayor fuerza en América del Sur, Centroamérica y las zonas entre Indonesia y Australia (Barnett, 1977). En general comprende un período de entre 12 y 18 meses con temperaturas anormalmente cálidas en la superficie del mar, particularmente en la mitad oriental del océano Pacífico Ecuatorial. Aparece de manera irregular, alrededor de una vez cada cinco o seis años (Gray, 1993). Así, puede presentarse dos años consecutivos para no volver a manifestarse sino después de varios años. Puede ser de baja, mediana, alta y muy alta intensidad e iniciarse en febrero, mayo o septiembre y durar meses y hasta varios semestres continuos.

Según (Glantz, 1996), El Niño está relacionado con cambios de la presión a nivel del mar en el Océano Pacífico y aumentos de la temperatura superficial del Pacífico oriental y central, ocasionando un flujo cálido hacia el sur, mar adentro de la costa de Perú. Aparece acompañado de un debilitamiento de los vientos alisios ecuatoriales que fluyen hacia el occidente. Es una perturbación del sistema Océano-Atmósfera en el Pacífico Ecuatorial, con importantes consecuencias para el clima del planeta.

En Centroamérica El Niño usualmente se asocia a períodos de sequía leve a severa en el Pacífico y a un aumento variable de las lluvias sobre la vertiente caribeña (PNUMA, CCAD y SICA, 2005). En el Pacífico contribuye a una reducción de la provisión de agua a causa de la precipitación irregular, la prolongación de los días secos, la alta incidencia de incendios forestales, las lluvias fuertes pero breves que afectan la infiltración de aguas de escorrentía además de provocar deslizamientos e inundaciones repentinas (Brenes y otros, 2002).

### **RECUADRO 7.3 LA NIÑA**

Este fenómeno se reportó por primera vez en la literatura científica a finales de los años noventa. El inicio de La Niña o terminación del fenómeno El Niño, se caracteriza por fortalecimiento de los vientos alisios originados en la zona de convergencia intertropical, así como su desplazamiento temprano de su posición habitual hacia el norte. Se da un aumento de la temperatura superficial sobre media (28-29 °C) del Océano Pacífico al oeste del meridiano 180°.

El fenómeno se identifica con cuatro causas. Se evidencia un debilitamiento de la corriente contra-ecuatorial, ocasionando que las aguas cálidas proveniente de las costas asiáticas afecten poco las aguas del pacífico de América. Existe normalmente un crecimiento de los afloramientos marinos por la intensificación de los vientos alisios. Hay un fortalecimiento de la corriente ecuatorial del sur, especialmente cerca del Ecuador, arrastrando aguas frías que disminuyen las temperaturas del pacífico tropical oriental y central.

(Continúa)

(Continuación Recuadro 7.3)

Finalmente, se da una mayor cercanía de la termoclina (región donde ocurre un rápido descenso en la temperatura) a las superficie del pacífico tropical, lo que favorece la concentración de especies marinas por la abundancia de alimento durante períodos largos. La Maduración o final de La Niña ocurre cuando los vientos alisios cobran normalidad.

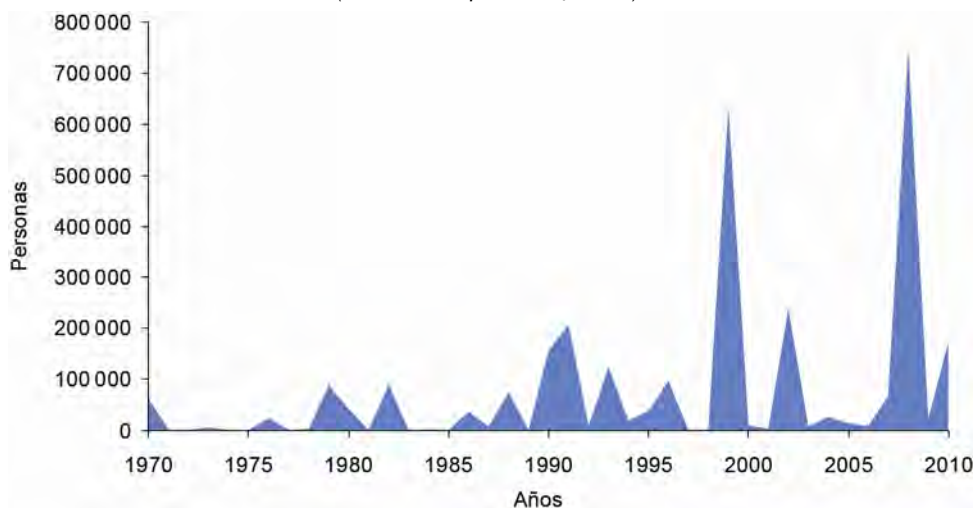
El fenómeno La Niña se ha manifestado en enfriamiento atípico de la superficie de los océanos en zonas tropicales, una estación lluviosa más intensa en toda Centroamérica, condiciones más secas de lo normal sobre el Océano Pacífico Ecuatorial Central e intensas lluvias en Colombia, Ecuador, Altiplanos de Bolivia y Perú.

Fuente: OPS, 2007; Klauer, 2005.

### 7.3 IMPACTOS ASOCIADOS A LOS EVENTOS EXTREMOS CLIMÁTICOS

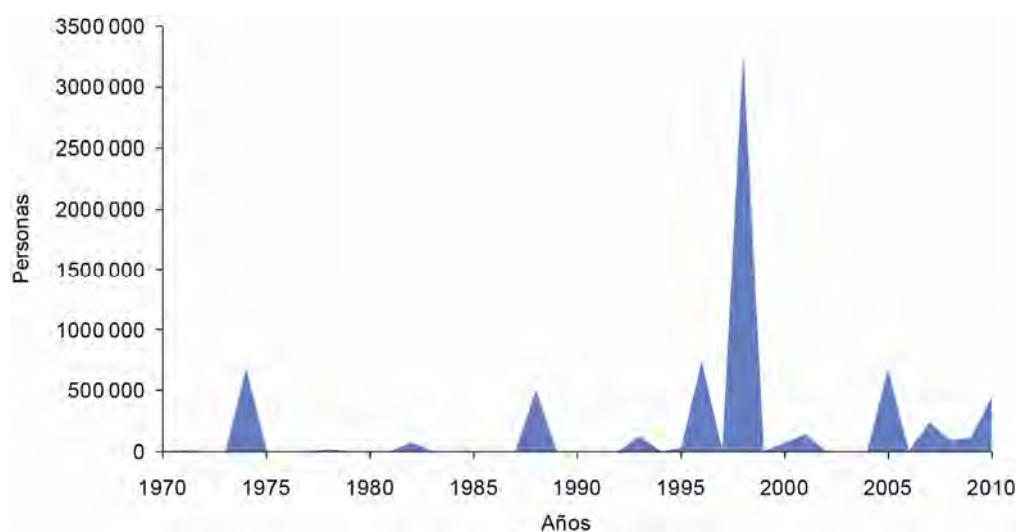
Las tendencias reportadas de eventos extremos muestran claramente que Centroamérica es altamente vulnerable a condiciones extremas de tiempo y clima, principalmente a inundaciones, huracanes y sequías. Los gráficos 7.9 y 7.10 presentan el registro del número de personas afectadas por inundaciones y tormentas y huracanes, incluyendo personas heridas, personas en busca de refugio, personas que requieren asistencia inmediata en la emergencia y personas evacuadas o desplazadas. El gráfico 7.9 presenta el número total de personas afectadas por inundaciones en los siete países. Se observa que el total de afectados se ha incrementado en las últimas dos décadas. El gráfico 7.10 muestra la evolución de las personas afectadas por tormentas y huracanes en los siete países. Se observa un incremento de las personas afectadas en las últimas décadas. Resalta el año de 1998 por el huracán Mitch, que afectó a todos los países de la región, especialmente a Honduras con dos millones de personas afectadas y a Nicaragua con 800 mil personas.

**GRÁFICO 7.9**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DE NÚMERO DE PERSONAS AFECTADAS**  
**POR INUNDACIONES, 1970-2009**  
(En número de personas afectadas)



Fuente: Elaboración propia con base en EM-DAT (CRED, 2009).

**GRÁFICO 7.10**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DE NÚMERO DE PERSONAS AFECTADAS**  
**POR TORMENTAS Y HURACANES, 1970 A 2009**  
*(En número de personas afectadas)*



Fuente: Elaboración propia con base en EM-DAT (CRED, 2009).

Los eventos hidrometeorológicos extremos se pueden convertir en factores desencadenantes de desastres. El riesgo de que se produzcan está determinado por la concurrencia de factores de exposición y vulnerabilidad, todos ellos de índole social y por ende susceptibles de mitigarse o agravarse mediante políticas públicas y las acciones de las comunidades humanas (Landa y otros, 2008). La instrumentación de políticas públicas requiere una aproximación a la valuación económica de los efectos catastróficos, de ahí el creciente interés por estimar sus costos económicos, para lo que se han propuesto estrategias y técnicas de medición (Freeman, Keen y Mani, 2003; Skidmore y Toya, 2002; Sadowski y Sutter, 2005; Kellenberg y Mobarak, 2008; Baritto, 2009; Crompton y McAneney, 2008).

En el caso de Centroamérica, la estimación de pérdidas económicas por eventos extremos se inició hace aproximadamente cuatro décadas con un esfuerzo entre las instituciones nacionales y regionales y la CEPAL con apoyo de otras agencias internacionales. La única información confiable es la de dichas evaluaciones para determinados tipos y magnitudes de eventos, pero son insuficientes para análisis de largo plazo. De acuerdo con ellas, once eventos extremos de origen hidrometeorológico y climático que afectaron a cinco países centroamericanos (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua) han producido pérdidas por 13.642 millones de dólares a valores de 2008. De los eventos evaluados, el huracán Mitch, ocurrido en 1998, es el que ha provocado las mayores pérdidas, cerca de 8.000 millones de dólares, equivalente al 58% de las pérdidas totales causadas por los once eventos evaluados. Le siguen en importancia las pérdidas producidas por el huracán Joan en 1988 con 1.412 millones de dólares o el 10,4% del total, y las de la tormenta tropical Stan en 2005 con 1.361 millones de dólares, equivalentes al 10% de las pérdidas totales (véanse el cuadro 7.1 y el gráfico 7.11).

**CUADRO 7.1**  
**CENTROAMÉRICA: PÉRDIDAS ECONÓMICAS CAUSADAS POR LOS PRINCIPALES DESASTRES OCURRIDOS**  
 (Millones de dólares a precios de 2008)

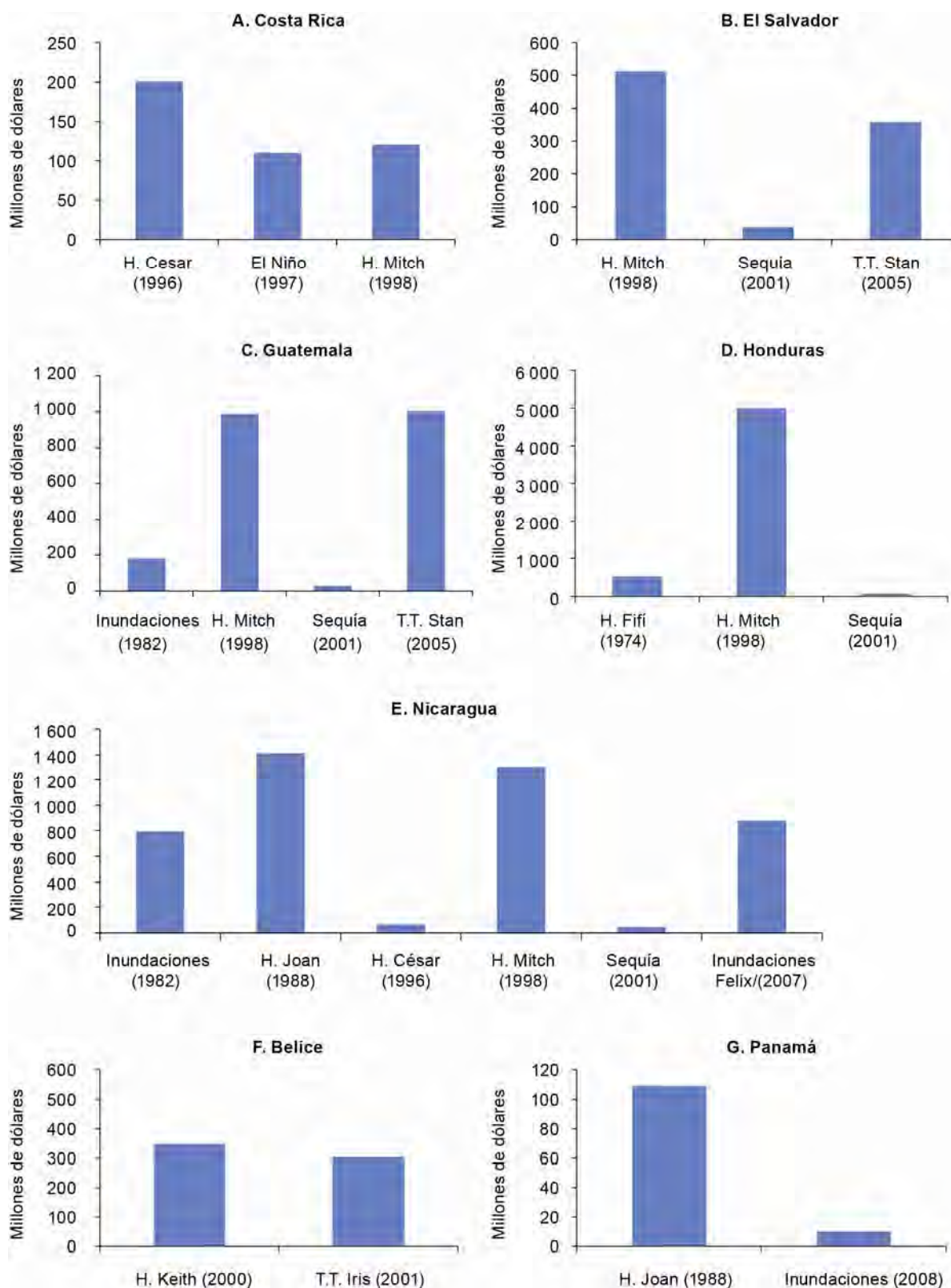
Pais	Año	Evento	Total sectorial			Sectores sociales				Sectores productivos				Medio Ambiente		
			Vivienda	Educación	Salud	Infraestructura	Comunicaciones y transportes	Electricidad	Agua y saneamiento	Riesgo, drenaje y otros	Agricultura	Industria	Comercio	Turismo		
Belize	2000	H. Keith	50,3	2,2	2,9	65,2	60,7	3,1	1,4	...	242,4	91,2	...	33,6	117,6	35,9
	2007	H. Dean	20,2	0,3	0,2	7,1	6,4	0,6	0,1	...	76,2	70,5	...	...	5,7	4,0
	Total Nacional		76,1	2,5	3,0	72,3	67,1	3,7	1,5	...	318,6	161,7	...	33,6	123,3	39,9
Costa Rica	1996	H. César	201,3	47,1	26,5	126,6	122,0	1,6	3,0	...	27,6	16,6	3,8	5,1	2,1	...
	1997	El Niño	110,0	1,6	1,5	28,7	...	28,6	0,1	...	71,7	70,2	1,5	...	...	8,0
	1998	H. Mitch	120,3	4,6	3,0	33,2	31,9	0,1	1,2	...	82,5	...	...	...	...	...
	Total Nacional		431,6	53,3	31,0	188,5	153,9	30,3	4,3	...	181,8	169,3	5,3	5,1	2,1	8,0
	1998	H. Mitch	512,7	49,7	16,4	98,2	93,0	0,5	3,2	1,5	355,6	209,1	97,6	48,9	...	9,2
	2001	Sequía	37,4	...	...	4,5	...	4,5	...	...	32,9	31,0	1,9	...	...	...
El Salvador	2005	TT. Stan	357,6	124,7	18,7	126,6	113,6	...	13,0	...	66,3	53,7	3,4	4,7	4,5	...
	Total Nacional		907,7	214,4	35,1	229,3	206,6	5,0	16,2	1,5	454,8	293,8	102,9	53,6	4,5	9,2
	1982	Inundaciones	180,1	11,5	0,4	50,8	19,9	25,4	3,3	2,2	117,8	...	...	...	...	...
Guatemala	1998	H. Mitch	988,0	63,5	10,4	153,0	118,5	13,2	21,3	...	764,8	659,6	81,4	23,8	...	6,7
	2001	Sequía	26,2	...	...	8,4	...	8,4	...	...	17,8	15,0	2,8	...	...	...
	2005	TT. Stan	1 003,4	169,7	15,7	492,8	474,1	5,6	13,1	...	296,3	85,7	62,5	89,2	58,9	44,6
	Total Nacional		2 197,7	244,7	26,5	705,0	612,5	52,6	37,7	2,2	1 196,7	878,1	146,7	113,0	58,9	51,3
	1974	H. Fifi	523,1	102,6	...	16,6	...	16,6	...	...	403,9	303,5	34,9	...	65,5	...
	1998	H. Mitch	5 010,7	580,3	43,6	911,5	764,9	76,5	37,5	32,6	3 457,2	2 683,1	497,4	276,7	...	61,7
Honduras	2001	Sequía	58,5	...	...	12,6	...	3,8	8,8	...	45,9	39,3	6,6	...	...	...
	Total Nacional		5 592,3	682,9	43,6	940,7	764,9	96,9	46,3	32,6	3 907,0	3 025,9	538,9	276,7	65,5	61,7
	1982	Inundaciones	795,5	100,0	6,9	400,5	351,6	10,7	33,5	4,7	295,0	244,8	42,6	7,6	...	...
Nicaragua	1988	H. Joan	1 412,7	606,5	11,0	289,3	261,0	1,4	14,3	12,6	234,3	141,0	52,9	40,4	...	282,6
	1996	H. César	68,7	12,5	0,4	19,9	19,2	0,4	0,3	...	36,3	31,4	...	4,9	...	...
	1998	H. Mitch	1 303,7	356,5	28,1	448,4	404,6	18,6	25,2	...	487,4	244,6	126,7	116,1	...	11,4
	2001	Sequía	49,1	...	...	7,7	...	...	7,7	...	41,4	35,4	6,0	...	...	...
	2007	Félix/	883,0	94,3	8,8	149,1	143,8	3,6	1,7	...	74,1	74,1	...	...	...	565,5
	Total Nacional		4 512,7	1 169,8	55,2	1 314,9	1 180,2	34,7	82,7	17,3	1 168,5	771,3	228,2	169,0	...	859,5

Nota: Deflactado por el índice de Precios al Consumidor (IPC) de los Estados Unidos. H. = Huracán; TT. = Tormenta Tropical.

Fuente: CEPAL, varios años.



**GRÁFICO 7.11**  
**CENTROAMÉRICA: COSTOS ECONÓMICOS DE 11 EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS**  
*(Millones de dólares a precios de 2008)*



Fuente: Elaboración propia con base en el Cuadro 7.11, excepto para Panamá, que fue hecho con datos de EM-DAT.

Otros eventos significativos fueron las inundaciones de 1982 con 975,6 millones de dólares en daños y pérdidas económicas, y el huracán Félix y las inundaciones que afectaron a Nicaragua en 2007 con pérdidas por unos 883 millones de dólares. A nivel país, los costos estimados (véase el gráfico 7.11) muestran que Honduras ha sido el país más afectado con 5.592,3 millones de dólares, equivalentes al 41% de las pérdidas totales, principalmente por el huracán Mitch. Le sigue Nicaragua con 4.512,7 millones de dólares (33%) y Guatemala con 2.197,7 millones de dólares. El Salvador y Costa Rica registran el menor volumen con un 7% y un 3% de las pérdidas totales acumuladas. No obstante, los impactos locales son significativos, como lo evidencian las evaluaciones del impacto asociado al huracán Félix en Nicaragua y a la tormenta Ida en El Salvador en 2008 (véanse los recuadros 7.4 y 7.5).

#### RECUADRO 7.4

##### NICARAGUA: IMPACTO DEL HURACÁN FÉLIX EN LA REGIÓN AUTÓNOMA DEL ATLÁNTICO NORTE (2007)

En 2007 el huracán Félix dejó una secuela de daños y pérdidas considerables en la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN) de Nicaragua. La fragilidad de la economía nicaragüense, en particular la de las zonas afectadas, responde a un patrón histórico de eventos que han afectado el desarrollo del país y las metas de desarrollo social y humano.

La estructura del impacto en la RAAN refleja el gran daño ambiental, sobre todo en bosques con un 76,0% del total de daños y pérdidas. El daño en agricultura, ganadería, pesca y silvicultura tiene un peso del 8,8%, en tanto el de los sectores sociales equivale al 11,0%, altamente concentrado en vivienda. Los daños en la infraestructura son del 4,2%, reflejando la escasa cobertura de las redes de comunicaciones, transportes y de provisión de energía. El impacto en la RAAN alcanza los 13.395 millones de Córdobas (716 millones de dólares), lo cual representa más del 14,4% del PIB del año 2006. La composición de este impacto se concentra en daños (un 70% del total). El monto de las pérdidas (30%)<sup>4</sup> fue sufrido principalmente por la sociedad de la región. Estas comunidades se encuentran entre las de mayor pobreza y menor índice de desarrollo humano del país. Por su limitada capacidad de recuperación por sí mismas, se hace necesario el aporte de recursos públicos y de cooperación internacional para recuperación y reconversión productiva.

Una primera conclusión de la evaluación es que se requieren cambios en los patrones de producción que reviertan el deterioro ambiental, recuperen la capacidad de resiliencia del entorno natural y generen actividades que eleven los niveles de vida y reduzcan los índices de pobreza y marginación. Una segunda conclusión es que la calidad y cobertura de la infraestructura básica del país —en particular la vial y los déficits cuantitativo y cualitativo de vivienda— facilitan daños cuya recuperación exige inversiones cuantiosas y ampliar la cobertura de servicios básicos y el acceso a vivienda digna. Una tercera conclusión es que la recuperación del daño y de las pérdidas pasa en primer lugar por una renovada y más integral promoción de

(continúa)

<sup>4</sup> En la metodología de valoración empleada se denominan daños a la destrucción parcial o total de acervos, ya sean naturales o contruidos, infraestructura tanto productiva como de servicios esenciales y líneas vitales. Las pérdidas se refieren a los flujos afectados por los daños ocurridos, es decir, descenso o pérdida de producción, menor disponibilidad de servicios esenciales —tanto sociales como atención de salud o educación como de transporte, comunicaciones), y los mayores gastos en que se ha incurrido tanto en la respuesta inmediata en la emergencia como en la progresiva recuperación de las actividades afectadas.

(Continuación Recuadro 7.4)

proyectos de desarrollo rural integral y de apoyo a las pequeñas empresas, incluyendo microcréditos y tecnología adaptada a las condiciones locales. Una cuarta conclusión es que al recaer el mayor daño sobre el patrimonio ambiental, el mantenimiento de dicho patrimonio se convierte en una inversión a asumir. Para materializarlo es esencial reducir prácticas depredadoras de las reservas naturales y el bosque mediante la introducción de actividades extractivas sustentables relacionadas con la conservación, incrementando la calidad y cantidad de los medios de vida de la población local, frenando la presión sobre el recurso por la expansión de la frontera agrícola y la extracción silvícola, introduciendo programas de reforestación y deforestación evitada.

Fuente: CEPAL, 2008c.

**RECUADRO: 7.5**  
**EL SALVADOR: IMPACTO POR LA BAJA PRESIÓN ASOCIADA A LA TORMENTA TROPICAL IDA, 2009**

El número de desastres provocados por eventos de origen natural en El Salvador devela el alto riesgo del país, cuyos costos no han sido bien medidos en general. La tormenta tropical Ida descargó una precipitación mayor a 450 mm en tres días, durante los cuales ocurrieron deslizamientos catastróficos. Tal cifra corresponde a cerca de cinco veces la precipitación media del mes de noviembre.

La población afectada de manera directa e indirecta se estima en poco más de 122.000 personas. Además de la pérdida de vidas humanas, el valor de los daños y pérdidas materiales ascendió a aproximadamente 315 millones de dólares, lo que representa el 1,44% del PIB del país. 211 millones de dólares corresponden a destrucción de acervos (el 67% del total de daños y pérdidas); los restantes 104 millones representan cambios en los flujos económicos e incluyen tanto pérdidas de producción como mayores costos de servicios (el 33% del total). Del monto total de daños y pérdidas, un 63% (199 millones) son de propiedad pública, en tanto que el 37% (116 millones) son en propiedad privada.

A nivel nacional, los efectos del desastre fueron limitados, pero a nivel local fueron grandes. El impacto se concentró en cinco de los 14 departamentos, acumulándose en ellos cerca del 85% de los daños y las pérdidas. En este sentido, el impacto en regiones específicas puede ser severo sin tener su reflejo en los indicadores nacionales, como el PIB o el índice de desarrollo humano.

De este perfil de impacto derivan necesidades de distinta índole y con diferente grado de urgencia y temporalidad. El monto de las necesidades de recuperación se estima en 106 millones de dólares, que deberían ser empleados entre diciembre del año 2009 y junio del año 2010, antes de la siguiente estación lluviosa, en tanto el monto total de las necesidades de reconstrucción se estimó en 149 millones de dólares, a ser ejecutados entre fines del año 2009 y el año 2014. A ello se suman necesidades inmediatas de recuperación temprana y acciones sustanciales de reducción del riesgo a corto y largo plazo.

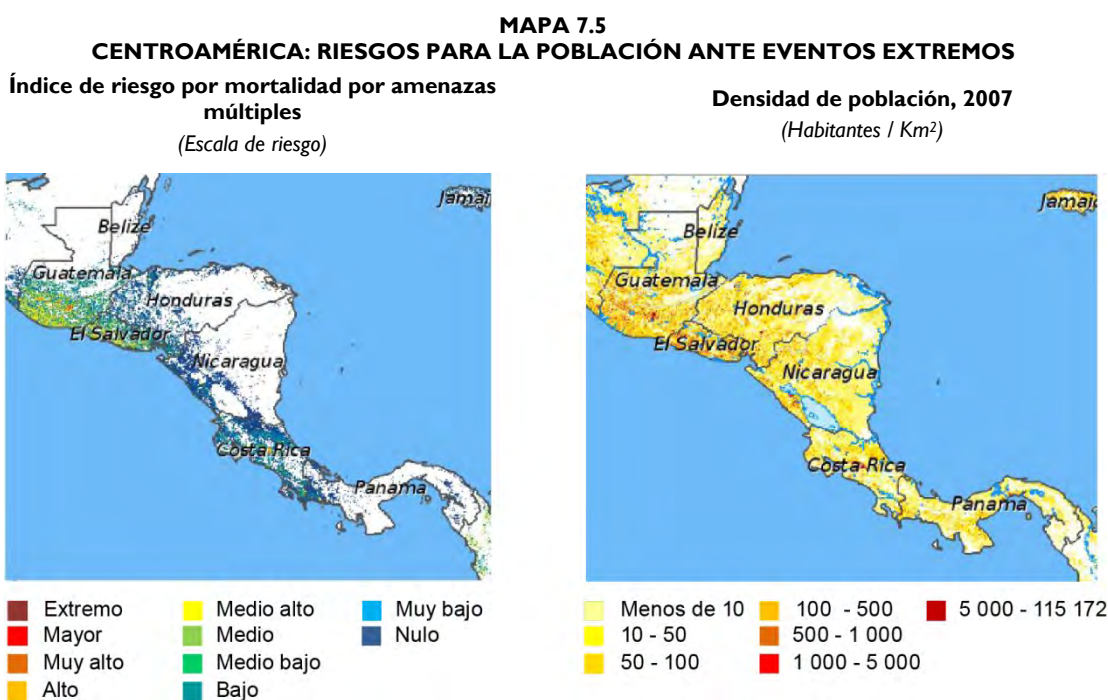
(continúa)

(Continuación Recuadro 7.5)

El país requiere una estrategia de reducción del riesgo explícita ante la recurrencia de este tipo de fenómenos. Plantea la oportunidad de hacer cambios importantes en el patrón de desarrollo tanto espacial como de sectores económicos y sociales a los que se debe prestar una mayor atención. Los principios que fundamentan este marco de gestión de riesgo son que la pérdida humana y el impacto económico de desastres pueden ser reducidos mediante la planificación pre-desastres, inversiones en prevención y que el marco estratégico y el plan de acción sean eficientes en términos de costo e implementación.

Fuente: CEPAL, 2010f.

La exposición de la población a diversos tipos de eventos extremos muestra una coincidencia entre la ubicación de los eventos y las zonas más densamente pobladas. De acuerdo con el Índice de Riesgo por Mortalidad (MRI)<sup>5</sup> –desarrollado por la *Global Resource Information Database* del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (GRID PNUMA) Europa–, gran parte del riesgo se concentra en la vertiente del Pacífico, donde se encuentran las áreas más densamente pobladas, considerando la población del año 2007 (véanse el mapa 7.5 y el cuadro 7.2). De estas cifras del riesgo de mortalidad por país, se desprende que únicamente Panamá y Belice presentan niveles de riesgo globales de medios a bajos, mientras que el resto registra valores entre 6 y 8. Guatemala es el país con mayor riesgo de mortalidad elevada por múltiples amenazas. En promedio, el riesgo de mortalidad más alto es el de deslizamientos de terreno, seguido del riesgo por inundaciones. El riesgo de mortandad por ciclones es el más bajo de todas las categorías consideradas.



Fuente: PNUMA, PNUD, EIRD y Banco Mundial, 2010.

<sup>5</sup> Basado en las expectativas de pérdidas de vidas humanas por píxel.

**CUADRO 7.2**  
**CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE RIESGO DE MORTALIDAD POR DIFERENTES CAUSAS**  
*(Mortality Risk Index con escala 1 (más bajo) a 10 (más alto))*

País	Mortalidad por ciclones (absoluto)	Mortalidad por ciclones (relativo)	Mortalidad por inundaciones (absoluto)	Mortalidad por inundaciones (relativo)	Mortalidad por deslizamientos (absoluto)	Mortalidad por deslizamientos (relativo)
Belice	2	5	2	5	2	6
Guatemala	2	2	4	3	6	5
El Salvador			3	3	5	5
Honduras	3	3	4	4	4	5
Nicaragua	3	4	3	4	4	5
Costa Rica	1	2	2	3	4	5
Panamá			2	3	4	5

Fuente: EIRD, 2009.

En cuanto a la vulnerabilidad de los sectores económicos, las evaluaciones de pérdidas y daños dan indicios de los sectores más vulnerables ante mayores impactos de eventos extremos. A nivel regional se observa que poco más de la mitad de las pérdidas económicas por eventos de gran magnitud entre los años 1974 y 2007 –de acuerdo con las evaluaciones de la CEPAL– correspondieron a sectores productivos, mientras que una cuarta parte se concentró en infraestructura. Los sectores sociales registran el 17% de las pérdidas totales y el ambiente un 7%.

Dentro de los sectores productivos, el agropecuario concentra casi las tres cuartas partes del total. En infraestructura, telecomunicaciones y transportes registran el 86% de las pérdidas totales a nivel de la región, principalmente por la destrucción de caminos y vías de comunicación. Dentro del sector social, el 79% de las pérdidas corresponde a la afectación de viviendas.

Los altos volúmenes de pérdidas del sector agropecuario, infraestructura carretera y vivienda están estrechamente vinculados a los altos niveles de vulnerabilidad existente. La vulnerabilidad del sector agropecuario se explica por la degradación ambiental y el atraso tecnológico. Según la FAO, en 2008 únicamente el 2,4% de las tierras agrícolas a nivel regional contaba con infraestructura de riego, mientras que el resto continuaba siendo de temporal y, en consecuencia, altamente vulnerable a variaciones de los ciclos de lluvia.

La vulnerabilidad de la infraestructura carretera refiere una larga historia de daños y pérdidas por desastres de diversa magnitud. Hasta el año 2005, la extensión de caminos pavimentados en la región era de las más bajas en el mundo. Panamá apenas alcanzaba el 36% de caminos pavimentados con respecto a la longitud total en 2002. En Guatemala este valor era ligeramente menor, 34% en 2001. Costa Rica sólo contaba con la cuarta parte de su red carretera pavimentada en 2005, mientras que El Salvador y Honduras registraban el 20% en 2001. Belice registraba el 19% en 2006 y Nicaragua el 16% en 2005. En los primeros años de este siglo, menos de la tercera parte de la población de Honduras y Nicaragua tenía acceso a caminos transitables todo el año.<sup>6</sup>

Las características de la vivienda y la condición socioeconómica de la población tanto en el área urbana como rural, explican en gran medida los grandes daños a la vivienda por desastres. Indicadores básicos de la calidad de la vivienda registran que durante los años 2000 la tercera parte de la población urbana regional habitaba viviendas precarias y únicamente el 43% de los hogares

<sup>6</sup> Banco Mundial, 2009. Consulta en línea.



tenían tenencia segura. En el año 2003 el 43% de las viviendas rurales tenía piso de tierra, el 12% tenía techo de materiales no permanentes y el 20% tenían paredes de materiales livianos o no permanentes. Los indicadores de las zonas urbanas son mejores y los valores regionales varían entre los países, siendo los de El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua los más bajos (Banco Mundial, 2009; BID, 2009; PNUMA, DEWA y GRID-Europe, 2009).

Los desastres pequeños y medianos se están extendiendo rápidamente en muchos países, abarcando cada vez más zonas geográficas y con una recurrencia mayor, especialmente durante los últimos diez años. Es importante destacar que las evaluaciones de impactos y costos de los eventos extremos en la región se han enfocado en los eventos mayores. En el futuro será necesario ampliar el análisis a los múltiples eventos de menor escala. Solo el 9% de los eventos registrados por DesInventar para Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Panamá se asocian a eventos de gran magnitud, mientras que el resto se asocia a condiciones climáticas de temporada en dichos países. Los eventos con impacto local registrados son un 47% por inundaciones y 24% por deslizamientos, siendo estos dos tipos los más recurrentes en las series de Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Panamá. En Costa Rica y El Salvador, tres cuartas partes de la mortalidad y casi el 60% de las personas afectadas están asociadas a eventos de pequeña y mediana magnitud. En Costa Rica solo el 10% de la afectación de viviendas se asocia a fenómenos de gran magnitud (DesInventar, 2008).

#### 7.4 ESTIMADO INICIAL DE COSTOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

Dada la limitada información disponible sobre pérdidas económicas causadas por fenómenos climáticos extremos en la región y sus escasas referencias territoriales en amplia resolución, no es posible prever las pérdidas probables a mediano y largo plazo mediante la interpolación de valores. De hecho, son pocos los desastres con impacto directo registrado en los indicadores macroeconómicos de los países a mediano plazo. De los 11 eventos evaluados por la CEPAL en cinco países de la región, las variaciones significativas atribuibles a desastres son menores cuando los efectos se analizan en perspectiva de mediano plazo.

La actividad económica es sensible a la influencia de numerosos factores, incluidos los impactos de eventos climatológicos extremos, por lo que en la práctica es difícil aislar su impacto de otros factores internos y externos. Tal situación plantea considerables dificultades metodológicas para cuantificar la magnitud real y las consecuencias de estos fenómenos sobre las economías nacionales. Por otra parte, los datos disponibles sobre las consecuencias económicas de los desastres se limitan a los impactos físicos directos o a las pérdidas de capital fijo y de inventario. Los efectos indirectos y secundarios sobre la actividad económica (cambios de política fiscal, consecuencias de la reasignación de recursos a largo plazo y pérdidas de capital humano) son omitidas o subestimadas (Banco Mundial, 2001). Los datos disponibles ofrecen solo un panorama de los daños directos, principalmente a la propiedad, la infraestructura, los equipos, los inventarios, etc. (Baritto, 2009).

Por otra parte, no hay consenso sobre la valuación de los eventos extremos en la disciplina económica (Okuyama, 2007). Una técnica ampliamente utilizada es el análisis de Insumo-Producto (IO) mediante las matrices de contabilidad social, identificando los sectores y las cadenas productivas afectadas. Una variante de esta metodología es la de los Modelos de Equilibrio General Computable (MEGC) basados en parámetros no lineales y que indican la modificación de los insumos y la producción ante cambios de precios. Pero no permite hacer proyecciones de largo plazo (Rose y Liao, 2005) y tiende a subestimar el costo de los impactos. En suma, la manera de calcular la magnitud de los costos asociados a eventos extremos sigue en debate (Pielke Jr, 2007), mientras que

la mayoría de los estudios se enfocan en países desarrollados y en las regiones de Asia. Así, por ejemplo:

- El Informe Stern (2007) considera que numerosos países en desarrollo ya están encontrando dificultades para enfrentar sus condiciones climáticas. Aún con aumentos de temperatura inferiores al 1 °C, los desastres climáticos están retrasando su desarrollo económico y social. Un cambio climático con incrementos de 3 °C a 4 °C implicaría un enorme aumento de los riesgos y costos asociados. A nivel global, estima un aumento de costos del 0,5% al 1% del PIB mundial a 2050 a partir de sencillas extrapolaciones. La cifra aumentaría si el calentamiento global sigue su marcha.
- Una investigación reciente de la ABI (2005a y 2005b) estima que un incremento del 4% al 9% en la intensidad de tormentas tropicales y tifones en Estados Unidos, Europa y Japón, aumentaría los costos hasta en un 65%.
- Nordhaus (2006), mediante modelos de regresión y con datos del registro e intensidad de huracanes para el océano Atlántico, calcula que los daños por huracanes aumentarán en un 0,06% del PIB de los Estados Unidos en promedio anual, valoración sobre la base de una duplicación de las emisiones de CO<sub>2</sub>e.

En general, las estimaciones arrojan resultados diversos. Se requiere un meta-análisis para ubicar los rangos de costos más probables. En el caso de Centroamérica no se dispone de información detallada sobre una matriz de insumo producto o una matriz social que permita aplicar estas técnicas. Ante esta situación, el presente estudio utilizó la metodología de modelos econométricos, que si bien está expuesta a críticas sobre la medición de los impactos, permite aproximar una trayectoria de los costos asociados a un aumento en la intensidad de los eventos extremos.

En teoría, la evidencia disponible muestra una estrecha relación entre el crecimiento económico, las principales variables socioeconómicas y la evolución del medio ambiente, independientemente del debate sobre las formas y magnitudes de estas relaciones. En efecto, es común considerar que el producto de una economía es función de los factores productivos capital y trabajo.

$$(7.1) \quad Y_t = F(K_t, L_t)$$

Donde  $Y_t$  representa el producto,  $K_t$  el capital y  $L_t$  el trabajo. Ahora podemos considerar que los costos asociados a los eventos extremos afectan la trayectoria del crecimiento a largo plazo, y hasta podrían incluirse eventos geológicos (sismos y erupciones volcánicas), aunque la especificación solo considera los climatológicos (Baritto, 2009). Así, la ecuación (7.1) se puede especificar como:

$$(7.2) \quad Y_t = F(K_t, L_t, PE_t)$$

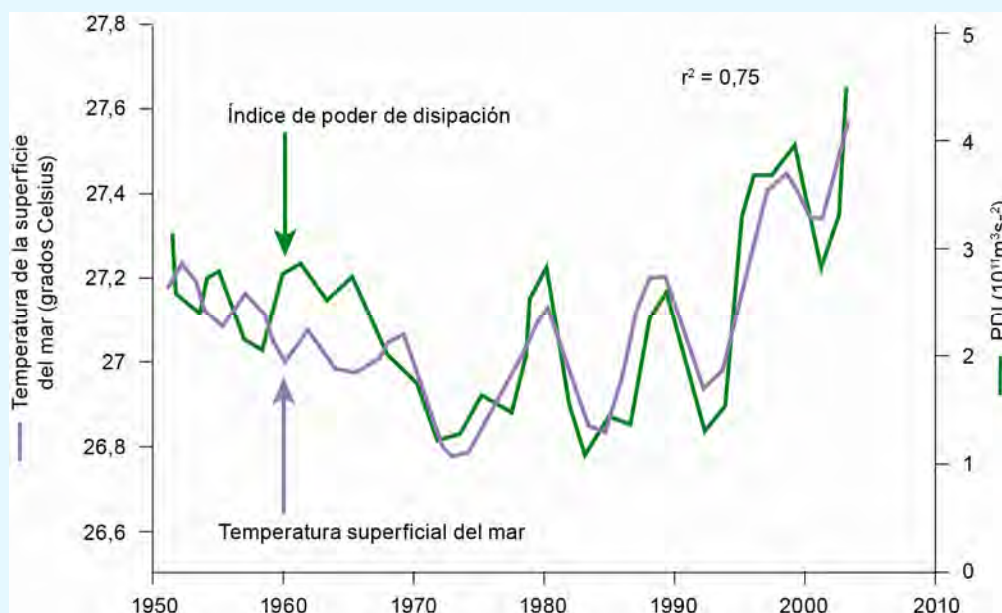
Donde PE es la pérdida económica asociada a la ocurrencia de eventos extremos climatológicos y se espera que su impacto sea negativo en el largo plazo (véase el recuadro 7.6). Esta especificación se basa en el trabajo de Baritto (2009), con una variante que utiliza la proporción de la pérdida económica respecto al capital, toda vez que su objetivo es identificar el impacto en la formación de capital de las economías.

### RECUADRO 7.6 INTENSIDAD DE HURACANES Y TORMENTAS Y SU IMPACTO EN COSTOS

Investigaciones recientes (Emanuel, 2007; Swanson, 2008) han mostrado que la temperatura superficial de los océanos se correlaciona positivamente con la intensidad de huracanes y tormentas tropicales. Existen diferentes medidas de la intensidad, incluyendo el número anual de huracanes y tormentas tropicales, su duración, velocidad máxima del viento cuando excede cierto valor crítico y categoría de huracán. Emanuel (2007) reporta una asociación positiva entre la temperatura de la superficie del océano Atlántico y un índice compuesto que mide la intensidad de huracanes, denominado PDI, que incluye la velocidad del viento y la duración del huracán como se observa en la siguiente figura.

#### OCÉANO ATLÁNTICO: TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR E ÍNDICE DE PODER DE DISIPACIÓN DE HURACANES

(En centígrados en eje izquierdo y PDI en metros cúbicos por segundo en eje derecho)



Fuente: Emanuel (2007), PDI = índice de poder de disipación.

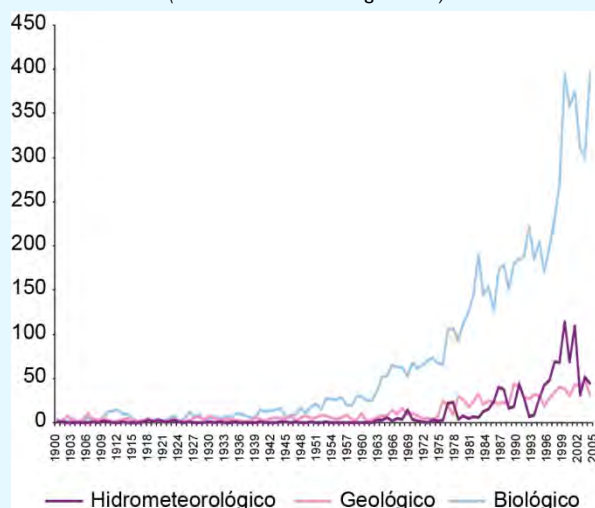
En lo que se refiere a los costos, existe una tendencia ascendente a nivel mundial. Para el continente americano, los costos por desastres de origen hidrometeorológico han sido cerca de 400 mil millones de dólares en el período 1991-2005, los más altos por desastres a nivel región. En este sentido, resulta una hipótesis válida asumir que los costos están positivamente asociados a la intensidad de eventos extremos. Por lo tanto, el estudio “La Economía del Cambio Climático en Centroamérica” asume que una mayor intensidad, derivada en un aumento de la temperatura superficial de los océanos, se traduce en un aumento de los costos.

(continúa)

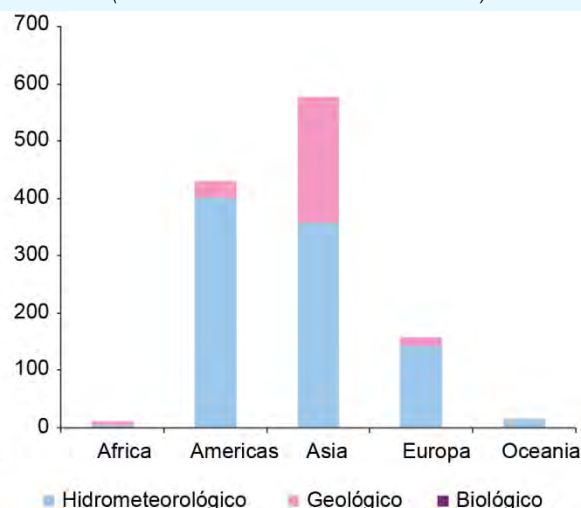
(Continuación Recuadro 7.6)

**MUNDO: EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE INCIDENCIA DE DESASTRES, 1990-2005**

(Número de eventos registrados)

**CONTINENTES: COSTOS ACUMULADOS DE DESASTRES, 1991-2005**

(Miles de millones de dólares del año 2005)



Fuente: EM-DAT.

Sobre la base de la literatura se busca una aproximación de la magnitud del impacto de las pérdidas económicas sobre el producto, como también su significancia estadística. La estimación fue hecha con un modelo de datos panel, que considera los registros de costos por inundaciones y tormentas tropicales para los siete países de la región, disponibles en EMDAT, incluyendo las once evaluaciones coordinadas por CEPAL sobre el período 1970-2007. El nivel de producto se aproxima por el PIB de cada país, el acervo de capital y el empleo con los datos generados por los escenarios macroeconómicos del estudio. Considerando las limitaciones de algunas de las series de empleo de los países, se hizo una estimación solamente con capital usando la ecuación 7.4. La ecuación fue estimada con la misma metodología de la ecuación 7.3. Los resultados se presentan en el cuadro 7.3.

**CUADRO 7.3**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMACIONES DE LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN CON EFECTO DE LOS EVENTOS EXTREMOS (HURACANES E INUNDACIONES)**

Variables	(7.3) PIB	(7.4) PIB
Constante (c)	-1,36* (-7,22)	0,902* (2,50)
Capital (lk)	0,552* (7,49)	0,844* (23,57)
Empleo (ll)	0,353* (5,58)	
Impacto económico de los eventos extremos meteorológico (lpe)	-0,012* (-2,86)	-0,012* (-2,04)
R <sup>2</sup>	0,88	0,82
Número de observaciones	231	252

Notas: Estimaciones con el método de Panel para el período 1975-2007 (7.3) y 1972-2007 (7.4).

Los coeficientes con \* son estadísticamente significativos al 5%. Todas las variables están en logaritmo natural.

R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación.

Fuente: Elaboración propia.

Las variables están en logaritmo natural, por lo tanto los coeficientes muestran las elasticidades de largo plazo para la región. El acervo de capital en ambas estimaciones, 7.3 y 7.4, y el empleo en 7.3, muestran elasticidades positivas, consistente con la teoría económica. En ambas estimaciones la pérdida económica por huracanes y tormentas arroja una elasticidad negativa muy cercana a cero,  $-0,012$ . Ambas estimaciones resultaron muy cercanas a este coeficiente, confirmando su robustez, por lo que se procede a utilizar la estimación de capital. Este coeficiente sugiere que si los costos se incrementaran en un 10% por una mayor intensidad de los eventos climatológicos durante este siglo, el costo anual sería de 0,12 puntos porcentuales del PIB, que podría considerarse el monto de los costos directos asociados únicamente a incremento de la intensidad de los eventos. Es decir, los estimados de los costos podrían ser significativamente más altos si se determina una relación entre mayor frecuencia de eventos y cambio climático y se incluyeran estimados de los costos indirectos, que generalmente equivalen al 70% de los costos directos.

Con estas acotaciones es posible diseñar un escenario inicial de los costos de los impactos directos de un incremento de la intensidad de los eventos extremos sobre la actividad económica hacia el 2100, con los siguientes supuestos:

- Una atmósfera más caliente de lo normal conserva más vapor de agua. Si en una atmósfera así caliente se mantienen los procesos naturales que forman nubes y precipitan lluvia, las precipitaciones pueden ser más intensas pero quizá menos frecuentes. Así, es difícil determinar con precisión cómo los cambios climáticos provocados por el hombre afectan los regímenes de lluvias regionales.
- Un planeta con temperaturas más elevadas engendrará un ciclo hidrológico más intenso, deshielo de los casquetes polares y glaciares, aumento del nivel del mar, eventos extremos más frecuentes, huracanes más intensos y quizá ciclos ENOS reforzados.
- En las deliberaciones del IPCC no hay consenso sobre la relación entre frecuencia de las tormentas y huracanes y el cambio climático, pero sí hay suficiente evidencia sobre la relación entre este fenómeno y la intensidad de tormentas y huracanes.
- La mayoría de los estudios delinean escenarios con aumentos de la intensidad de huracanes del 4% al 12%. El presente análisis considera un aumento del 5% como límite inferior y del 10% como límite superior.
- El escenario base utilizado es la trayectoria del PIB y el acervo de capital calculados por los escenarios macroeconómicos del proyecto.
- Se usa como referencia la trayectoria observada de la pérdida económica como costos directos en acervos de capital por los eventos extremos de 1970 a 2008 estimados para Centroamérica.
- Se supone un aumento proporcional de costos ante el aumento de una unidad de intensidad.

El cuadro 7.4 presenta los resultados de la estimación del costo directo con valor presente neto a distintas tasas de descuento sobre un incremento del 5% en la intensidad de los eventos extremos respecto a la trayectoria observada en las últimas cuatro décadas. Se observa que los mayores costos podrían recaer en Belice y Honduras, lo cual tendría consecuencias para sus trayectorias de crecimiento de largo plazo. En un segundo grupo se ubica Costa Rica, seguida por Guatemala, Panamá, Nicaragua y El Salvador. Mientras los costos de Centroamérica en conjunto van del 7,64% al



0,25% con tasas de descuento del 0,5 % y el 8%, respectivamente. Esta medición es del aumento en costos, no de los costos totales provocados por los eventos extremos.

**CUADRO 7.4**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO ANTE UN AUMENTO DE 5% EN LA**  
**INTENSIDAD DE LAS TORMENTAS Y LOS HURACANES, 2008 A 2100**  
*(En porcentaje del PIB 2008 a valor presente neto)*

Tasa de descuento	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
0,5%	24,12%	10,06%	3,45%	4,66%	20,57%	2,98%	4,96%	7,64%
2,0%	9,16%	4,13%	1,39%	1,94%	7,98%	1,43%	2,01%	3,09%
4,0%	2,94%	1,43%	0,50%	0,73%	2,71%	0,66%	0,73%	1,09%
8,0%	0,58%	0,27%	0,12%	0,19%	0,61%	0,24%	0,19%	0,25%

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 7.5 presenta los resultados de la estimación del costo directo con valor presente neto a distintas tasas de descuento sobre un incremento del 10% en la intensidad de los eventos extremos respecto a la trayectoria observada en las últimas cuatro décadas. Se observa que los costos lógicamente se duplican en relación al escenario anterior y que tendrían un impacto más significativo sobre las trayectorias de crecimiento de largo plazo. En los casos de Belice y Honduras implican el equivalente al 47% y al 40% de su PIB del 2008, respectivamente, a valor presente neto con una tasa de descuento del 0,5%. Estos costos también se duplican para la región en conjunto, con valores del 14,9% al 0,5% con tasas de descuento del 0,5 % y el 8%, respectivamente.

**CUADRO 7.5**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO ANTE UN AUMENTO DEL 10% EN LA**  
**INTENSIDAD DE LAS TORMENTAS Y LOS HURACANES, 2008 A 2100**  
*(En porcentaje del PIB 2008 a valor presente neto)*

Tasa de descuento	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
0,5%	47,11%	19,65%	6,73%	9,10%	40,18%	5,81%	9,69%	14,92%
2,0%	17,90%	8,06%	2,72%	3,78%	15,59%	2,80%	3,92%	6,03%
4,0%	5,75%	2,79%	0,98%	1,42%	5,28%	1,29%	1,44%	2,13%
8,0%	1,13%	0,53%	0,23%	0,38%	1,19%	0,47%	0,37%	0,49%

Fuente: Elaboración propia.

Estas estimaciones son iniciales, acotadas a una parte estimable de los costos directos y sensibles a los datos observados en la última década, donde se ha registrado un aumento de la frecuencia e intensidad de los eventos extremos. Debido a la falta de información detallada, los costos comprenden inundaciones, tormentas y huracanes. Por lo tanto, es difícil cuantificar los impactos por separado, además de que en algunos países son más frecuentes unos eventos que otros. En todo caso, el ejercicio indica serios aumentos en costos, aun considerando una parte limitada de los impactos.

## 7.5 CONSIDERACIONES FINALES

Con base en el análisis anterior, se concluye lo siguiente:

1. Las tendencias de eventos extremos muestran un aumento de la frecuencia e intensidad de huracanes y tormentas tropicales en las últimas tres décadas a nivel global.
2. Existe una correlación entre la temperatura superficial de los océanos y la intensidad de tormentas y huracanes, pero no es claro que éstos estén aumentando en frecuencia como consecuencia del cambio climático. En el Océano Atlántico Norte se observa un crecimiento del número de huracanes y tormentas desde finales de los años noventa, pero esto podría estar asociado a una fluctuación multidecadal histórica y/o a un aumento de la volatilidad.
3. Hay evidencia de un aumento en la intensidad de huracanes y tormentas desde la década de los ochenta. Las proyecciones de diversas investigaciones indican que en el presente siglo se espera un aumento de la intensidad de estos fenómenos de entre el 5 y el 10% respecto al siglo anterior. Así, la conclusión del Cuarto Reporte del IPCC es que la intensidad de los ciclones tropicales probablemente aumentará, pero no hay suficientes bases para decir que su número aumentará también.
4. Sin embargo, la frecuencia de los huracanes y tormentas tropicales en las últimas dos décadas se ha incrementado 4,5 veces en toda la región. Nicaragua es el país con mayor número de tormentas tropicales. Las tormentas tropicales y huracanes han causado casi el doble de víctimas que las inundaciones.
5. En las últimas dos décadas la frecuencia de inundaciones se ha duplicado respecto al período 1970-1989. Los países con mayor número de inundaciones han sido Honduras, Costa Rica y Panamá, con casi una inundación por año en promedio. El Salvador y Guatemala también registran una alta frecuencia de este tipo de eventos.
6. No existen proyecciones de los costos ante un cambio en la intensidad de los eventos extremos asociada al cambio climático. La literatura identifica un rango de variación entre el 4% y 12% de incremento en la intensidad de inundaciones, tormentas tropicales y huracanes. Sin embargo, en los modelos de clima la intensidad de estos eventos está en función de varios factores que siguen patrones no lineales, difíciles de cuantificar en escenarios de emisiones.
7. Una estimación conservadora de los costos acumulados a 2100 de un aumento en la intensidad de las inundaciones, tormentas tropicales y huracanes en función de los costos directos para las economías centroamericanas por pérdidas en el acervo de capital solamente, sugiere costos equivalentes a valor presente neto de entre el 3% y el 25% del PIB de 2008, dependiendo del país con un aumento del 5% en intensidad y entre el 6% y el 48% con un aumento del 10% en intensidad.
8. Centroamérica sufre un proceso histórico de degradación ambiental severo. Aunque los primeros resultados de esfuerzos de conservación y recuperación comienzan a verse, los altos niveles de degradación acumulada y la lentitud de su contención hacen suponer que en el corto, mediano y largo plazo la degradación ambiental seguirá siendo uno de los mayores factores de riesgo ante desastres futuros. Además, en Centroamérica, al igual que

en otras regiones del mundo, existe una estrecha relación entre los desastres de diversa magnitud y las condiciones de pobreza y desigualdad de la población.

9. Los desastres tienen severos impactos en las economías y las sociedades. La determinación de su impacto real requiere análisis de largo plazo sobre situaciones locales específicas y los canales de impacto indirecto sobre la ruta de desarrollo, magnitudes que no podemos obtener a partir del nivel de agregación con el que se determinan las variables macroeconómicas.
10. Las evaluaciones de impactos y costos de los eventos extremos en la región se han enfocado en los eventos mayores. En el futuro será necesario ampliar el análisis a los múltiples eventos de menor escala, los cuales se están extendiendo rápidamente en muchos países, abarcando cada vez más zonas geográficas con recurrencia mayor, especialmente durante los últimos diez años.
11. Los retos históricos de la reducción de riesgos están más vigentes que nunca: degradación ambiental por actividades económicas, ocupación inadecuada del territorio, pobreza y desigualdad, carencia de infraestructura adecuada, limitada respuesta institucional tanto del sector público como del privado y otros muchos tópicos asociados al desarrollo. Adaptarse al cambio climático implica revertir las condiciones de vulnerabilidad y la contribución social a la construcción de las llamadas amenazas socio-naturales sobre lo que se fundamenta la reducción del riesgo y, en consecuencia, la adaptación al cambio climático.

## 8. ENERGÍA

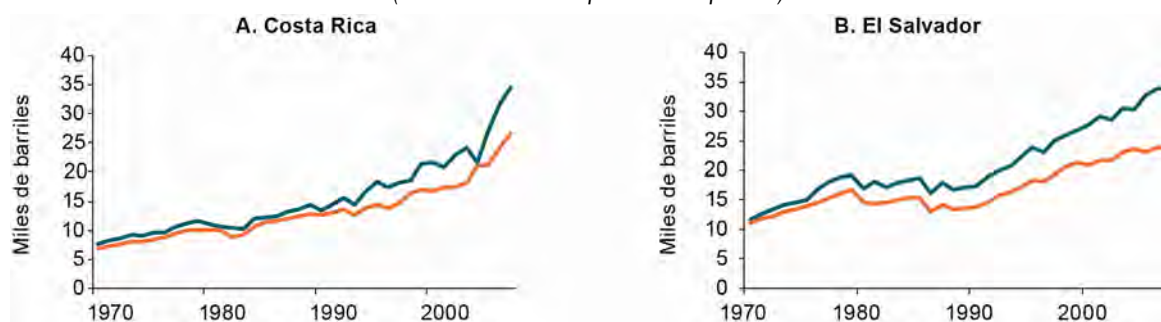
### 8.1 INTRODUCCIÓN<sup>1</sup>

El consumo de energía en la región centroamericana se caracteriza por una alta dependencia de los derivados del petróleo y la biomasa, con poca participación de la generación eléctrica en el balance global. La dependencia de energéticos importados, medida por el nivel de la oferta energética (moderna y tradicional), es de alrededor del 50%<sup>2</sup>, constituida principalmente por petróleo crudo y derivados. Los altos precios de los derivados del petróleo a partir del año 2003 han incidido negativamente en las economías de los países. El peso de su factura, comparado con la de las exportaciones totales, llegó a 20% en 2008, mientras que en la década anterior fue cercano al 10%.

La fuerte dependencia de los derivados del petróleo explica la fragilidad centroamericana frente a las fluctuaciones del mercado petrolero, dado el impacto de las alzas de precio en las economías locales. Esta condición impone presiones especiales al sector energético de los países, pues los consumidores exigen medidas para evitar o amortiguar las alzas de precios del combustible y de las tarifas de los servicios más afectados como son transporte público y electricidad.

Durante el período 1970–2007, la oferta total de energía en los países de la región se incrementó 3,4% en promedio anual, al pasar de 65,46 millones de barriles equivalentes de petróleo (Mbep) a 220,62 Mbep, en tanto que la demanda total de energía aumentó a una tasa promedio anual de 3,1%, al pasar de 57,24 Mbep a 175,14 Mbep (véase el gráfico 8.1).<sup>3</sup>

**GRÁFICO 8.1**  
**CENTROAMÉRICA: OFERTA-DEMANDA TOTAL DE ENERGÍA (1970–2007)**  
(En miles de barriles equivalentes de petróleo)



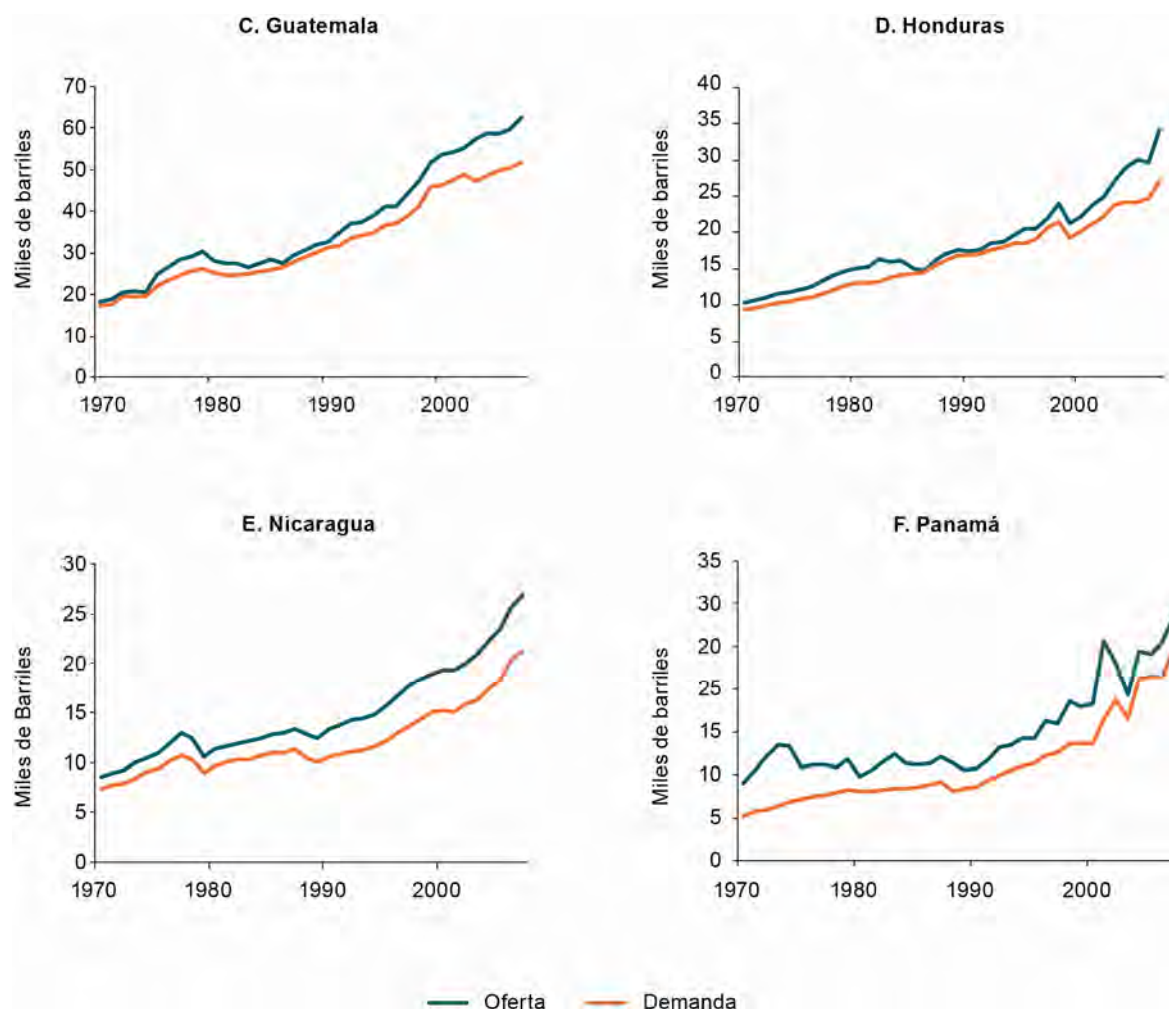
(continúa)

<sup>1</sup> Para mayor información véase el “Estudio sectorial regional sobre energía y cambio climático en Centroamérica” (CEPAL, 2011a, por publicar), realizado por la Unidad de Energía y Recursos Naturales (UERN) de la Sede Subregional de la CEPAL en México y consultores en el marco de este proyecto.

<sup>2</sup> Grado de dependencia de energéticos importados, calculado como el cociente entre las energías primaria y secundaria importadas (petróleo, derivados del petróleo y carbón) y la oferta total de energía disponible en los mercados nacionales.

<sup>3</sup> La unidad Mbep corresponde a un millón de barriles equivalentes de petróleo (1 Mbep = 5.810,0 terajoules).

(Continuación Gráfico 8.1)



Nota: Datos de Belice no disponibles.

Fuente: Estadísticas CEPAL, Series históricas (1970–2007), balances de energía de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y elaboración propia.

Según el tamaño de las economías y su dependencia de las fuentes de energía tradicionales, Guatemala fue el país con mayor oferta en el período 1970-2008. Los países de la región produjeron 55,8% de la oferta total. Los principales energéticos producidos son leña, energía geotérmica, energía hidráulica, bagazo de caña y otros residuos de biomasa. Por países el mayor consumo de energía se registró en Guatemala, 35,2%, seguido de Honduras, 14,8%, Costa Rica, 15,3%, El Salvador, Panamá y Nicaragua, 11,7%, 11,1% y 11%, respectivamente, y Belice 0,9%, cuyas series analizadas son a partir de 2007.

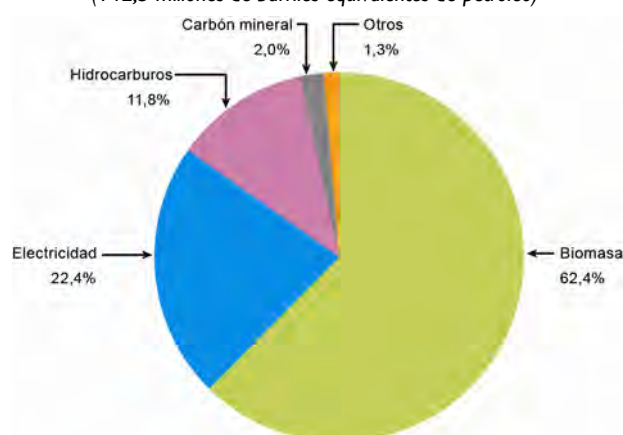


## 8.2 BALANCE DE ENERGÍA <sup>4</sup>

La oferta de energía primaria corresponde a las fuentes disponibles (renovables y no renovables, autóctonas e importadas) antes de su transformación. La oferta de energía secundaria corresponde a la energía disponible para el consumidor final luego de la transformación de la energía primaria (refinación, conversión de energía, etc.). Ambas ofertas, luego del descuento de las pérdidas de transformación y transporte, consumos propios de los procesos y transporte, constituyen la energía entregada para el consumo final. A continuación se describen las principales etapas que conforman el balance de energía.

La oferta de energía primaria en la subregión alcanzó 142,5 Mbep en 2008. La biomasa continúa siendo la principal fuente de energía primaria con 62,4%, seguida por las fuentes hidráulicas y geotérmicas (electricidad primaria), 22,4%, hidrocarburos y carbón mineral, 11,8% y 2%, respectivamente, y otros el 1,3% restante<sup>5</sup> (véase el gráfico 8.2). El período histórico analizado es de 1970 a 2008, en el caso de Belice se cuenta con datos a partir de 2007.

**GRÁFICO 8.2**  
**CENTROAMÉRICA: ENERGÍA PRIMARIA 2008**  
(142,5 millones de barriles equivalentes de petróleo)



Fuente: Sistema de Información Económica-Energética (SIEE) OLADE y estimaciones CEPAL sobre la base de cifras oficiales.

Para 2007 se estimaba que en Centroamérica alrededor de 19 millones de personas, 50% de la población, seguía dependiendo de residuos de biomasa (principalmente leña) para satisfacer sus necesidades energéticas básicas. El 86% de la población dependiente de la leña se ubica en Guatemala, Honduras y Nicaragua, donde vive la mayor porción de gente en pobreza y pobreza extrema (CEPAL, 2008a; 2009e).

<sup>4</sup> El balance de energía de la región se obtuvo de los balances energéticos de los países según el Sistema de Información Económica Energética (SIEE) de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Las estimaciones de Belice se realizaron sobre la base de índices demográficos y económicos oficiales. Para calcular la producción de hidrocarburos de Belice se usaron datos del Departamento de Energía de Estados Unidos y de la Administración de Información Energética (DOE/EIA por sus siglas en inglés). Los datos de electricidad fueron obtenidos de las estadísticas del subsector eléctrico de la CEPAL.

<sup>5</sup> 'Otros' se refiere a residuos orgánicos, biogás, energía eólica, energía solar, etc.

La mayor proporción de la energía moderna o comercial corresponde a petróleo y sus derivados; el carbón mineral representa una fracción muy pequeña, aunque su uso crece. Sólo Belice y Guatemala cuentan con una pequeña producción interna de petróleo, la cual se exporta casi en su totalidad. La región es importadora neta de hidrocarburos. Alrededor de 81% de combustibles provenientes del petróleo se emplea como consumo final en la industria, el transporte y el uso doméstico; 20% se utiliza para generar electricidad (véase el cuadro 8.1).

**CUADRO 8.1**  
**CENTROAMÉRICA: CONSUMO FINAL ENERGÉTICO 2008**  
(En miles de barriles equivalentes de petróleo)

Sector de consumo	2008	%
Transporte	53 260,3	29,1
Industria	31 728,4	17,3
Residencial	82 291,9	45,0
Comercial, servicios públicos	11 900,9	6,5
Agropecuario, pesca, minería	951,9	0,5
Construcción, otros	1 475,4	0,8
Consumo energético	181 608,7	99,3
No energético	1 323,76	0,7
Consumo final	182 932,4	100,0

Fuente: Sistema de Información Económica Energética (SIEE) OLADE y estimaciones de la CEPAL sobre la base de cifras oficiales.

El consumo final energético por sectores en 2008 fue de 182,9 Mbep, donde el sector residencial tuvo una participación de 45%, el transporte 29,1%, la industria 17,3%, los sectores comercial y de servicios públicos en conjunto 6,5%, los sectores agropecuario, pecuario y minero 0,5% y, por último, 0,8% para construcción y otros. El consumo no energético fue 0,7%. Los sectores residencial, comercial y de servicios públicos requirieron energía para cocción de alimentos, iluminación, calefacción, calentamiento de agua, usos comerciales y servicios públicos, entre otros. Se estima que la leña tuvo una participación del 76% del consumo total de estos sectores, la electricidad 16%, el gas licuado de petróleo (GLP) 5,3%, el diesel 1,3%, las gasolinas, el kerosene, el fuel oil y el carbón vegetal en conjunto 1,4%.

El sector transporte utilizó básicamente derivados del petróleo (diesel 47,2%, gasolinas 42,8%, kerosenos y turbo 9,8% y GLP 0,2%). En el caso de los biocombustibles, todos los países reportan pequeña utilización (biodiesel, principalmente), la cual no es significativa en el balance. Por lo menos cuatro países realizaron exportaciones de etanol. Solamente Costa Rica tiene un programa aprobado para utilizar mezclas obligatorias de gasolinas y alcohol.

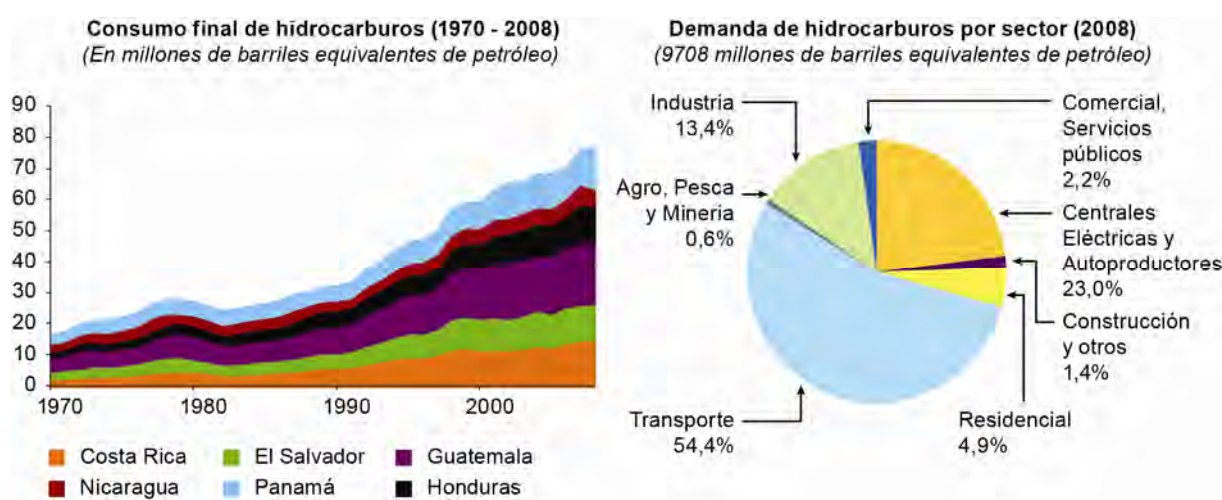
Los sectores agropecuario, pesquero y minero utilizaron diesel (36,6%), electricidad (27,3%), energía primaria (12%), GLP (8%), gasolinas (6,5%), leña (3,9%), fuel oil (3,4%), kerosenos (2,3%) y un monto no significativo de carbón vegetal.

La industria tuvo la siguiente estructura de consumo de energéticos: 18,9% diesel, 18% electricidad, 17,6% coque, 16% fuel oil, 9% bagazo (productos de caña), 8,8% leña, 5,1% GLP, 3,2% otras energías primarias, 2% carbón mineral y 1,4% gasolinas, kerosenos y carbón vegetal, este último con un monto no significativo.

## SUBSECTOR HIDROCARBUROS

Entre 1970 y 2008, el consumo final de hidrocarburos en la región (sin incluir su uso para generar electricidad) creció a una tasa anual promedio de 4% al pasar de 16,2 Mbep a 79,5 Mbep, cifra superior al crecimiento promedio de la economía y de la demanda total de energía (CEPAL, 2009i). Los sectores dominantes en demanda son el transporte, que consume 54%, las centrales eléctricas y autoproducción con 23% y la industria con 13%. La distribución del consumo por energéticos corresponde en primer lugar al diesel, 67,3%, seguido del fuel oil, 17,1%, kerosenes 6,2%, gasolinas 5,4% y gas licuado 3,9% (véase el gráfico 8.3).

**GRÁFICO 8.3**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DEL CONSUMO FINAL Y DEMANDA POR**  
**SECTOR DE HIDROCARBUROS**



Nota: El gráfico de consumo de hidrocarburos no incluye los derivados del petróleo utilizados para producir electricidad.

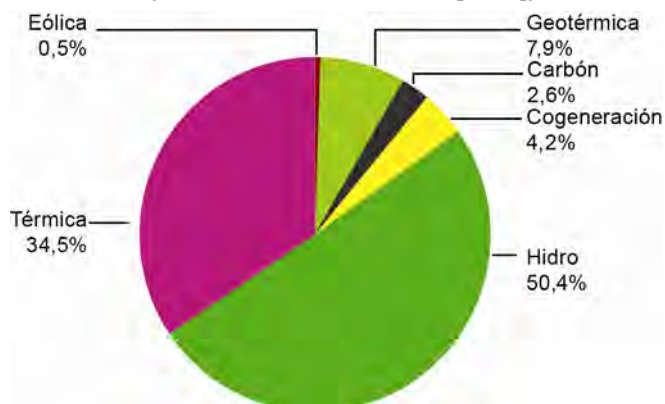
Fuente: Estadísticas CEPAL, Series históricas (1970-2007).

## SUBSECTOR ELÉCTRICO

Durante el período 1970-2008, el consumo de energía eléctrica creció 6% y el PIB 3,5% en promedio anual. El 46% de la capacidad eléctrica instalada total corresponde a las plantas térmicas a base de combustibles fósiles y 54% a fuentes renovables, de las cuales 42% corresponde a centrales hidroeléctricas, 5% a plantas geotérmicas, 7% a centrales de cogeneración (bagazo de caña) y menos de 1% a centrales eólicas. La generación eléctrica con fuentes renovables superó a la que utiliza hidrocarburos con 63%, de la cual la generación hidráulica fue 50%, la geotérmica 8%, el bagazo de caña (cogeneración) 4% y la eólica menos de 1% (véase el gráfico 8.4).

De la generación con combustibles fósiles, 93% fue con hidrocarburos y 7% con carbón mineral. En Costa Rica 93% de la generación eléctrica es con fuentes renovables, en El Salvador y Panamá es 63%, y en Guatemala y Belice es 60%, a diferencia de Honduras y Nicaragua, que sólo generan 37% y 35% de la producción total con fuentes renovables.

**GRÁFICO 8.4**  
**CENTROAMÉRICA: GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR TIPO DE FUENTE, 2008**  
**(39 651,9 GIGAWATTS HORA [GWH])**



Fuente: Estadísticas del subsector eléctrico y estimaciones de la CEPAL sobre la base de cifras oficiales.

Las ventas de energía eléctrica en la región fueron 33.240,2 GWh en 2008 para más de 7,6 millones de usuarios. Las mayores ventas se registraron en Costa Rica, 25,1% del total, seguida por Guatemala, 19,5%, Panamá, 16,4%, Honduras 15,7%, El Salvador, 15,2%, Nicaragua, 6,7% y Belice, 1,3%. Con relación al tipo de usuario, el sector residencial fue el principal consumidor con 33,3% de las ventas totales, le siguen el sector industrial, 29,4%, el sector comercial, 28,5% y otros, 8,8%.

La cobertura eléctrica fue de aproximadamente 82% de la población de la región, variando entre países de la siguiente forma: Costa Rica 99%, Belice 90%, Panamá 89%, El Salvador 86%, Guatemala 84%, Honduras 77% y Nicaragua 65%. Las pérdidas promedio en los sistemas de transmisión y distribución (técnicas y no técnicas) son de 16%, variando entre Nicaragua con 27,3%, Honduras 23,5%, Guatemala 17,1%, Belice 13%, El Salvador 12,8%, Panamá 11,8% y Costa Rica 10,6%.

### 8.3 INDICADORES DE CONSUMO DE ENERGÍA

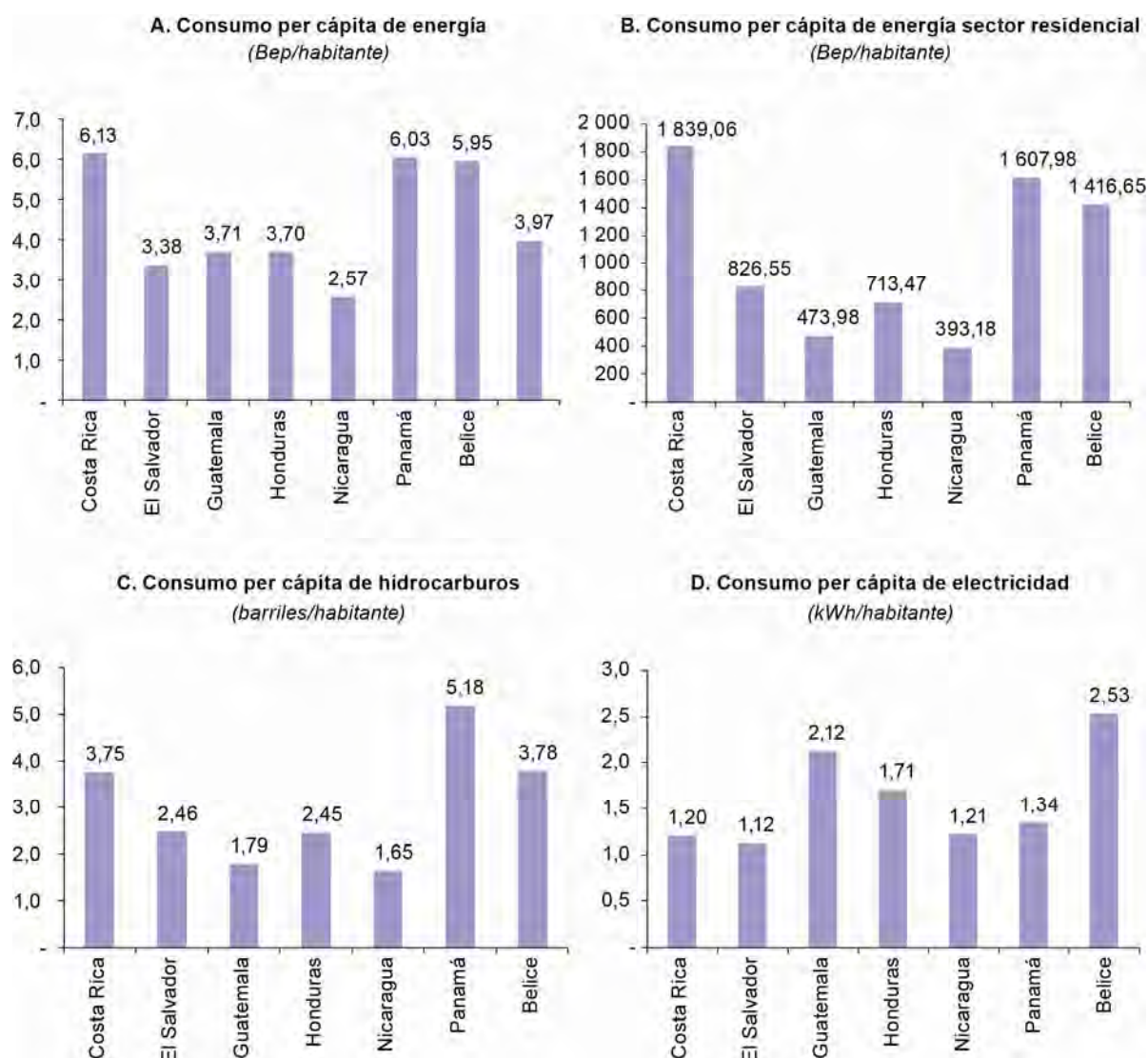
El consumo de energía per cápita regional fue de 4 bep/habitante. Costa Rica, Panamá y Belice registraron los mayores consumos con 6 bep/habitante en promedio. El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua consumen alrededor de la mitad del consumo del primer grupo. El consumo per cápita residencial promedio fue de 1,6 bep/habitante. El mayor valor fue el de Belice y el menor el de El Salvador. El consumo per cápita de hidrocarburos y de electricidad fue de 2,5 barriles/habitante y 810 kilo Watt hora (kWh)/habitante. El mayor consumo per cápita de hidrocarburos fue el de Panamá, que duplicó el promedio regional. En electricidad, Costa Rica, Panamá y Belice duplican el promedio regional (véase el gráfico 8.5).

La intensidad energética<sup>6</sup> de los países fue de 1,85 bep por cada mil dólares de PIB de 2008. Panamá registró la menor intensidad (1,07) y Nicaragua la mayor (3,95), seguidos por Guatemala y Honduras (2,77 y 2,54). Las cifras de los otros países son: Belice 1,46, El Salvador 1,30, Costa Rica 1,19. Las cifras más bajas corresponden a los países con menor utilización de energías tradicionales

<sup>6</sup> La intensidad energética está expresada en barriles equivalente de petróleo por cada mil dólares de PIB (a precios constantes del 2000).

(biomasa). Debido al alto consumo de leña, las mayores emisiones de Gases a Efecto Invernadero (GEI) del sector energético son las del sector residencial con 47% (CEPAL, 2007d, con estimaciones para 2005). Respecto a las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) asociadas al uso de combustibles fósiles en 2007, el transporte fue el principal emisor, con 46%, seguido por la generación eléctrica con 24% y la industria con 20%.<sup>7</sup>

**GRÁFICO 8.5**  
**CENTROAMÉRICA: INDICADORES DE CONSUMO DE ENERGÍA PER CÁPITA, 2008**  
(En Bep, kWh y barriles de petróleo por habitante)



Fuente: SIEE OLADE, Estadísticas de los subsectores hidrocarburos y eléctrico y estimaciones de la CEPAL sobre la base de cifras oficiales, datos de 2008.

<sup>7</sup> Según el informe de estadísticas energéticas 2007 de la OLADE (OLADE, 2007).



## BIOMASA

La biomasa es y ha sido un energético importante en la subregión, pues se utiliza para la producción de carbón vegetal (leña), generación eléctrica (bagazo de caña de azúcar) y consumo final de los sectores industrial y residencial. El primero la usa principalmente para producir azúcar y el sector residencial la utiliza para cocción de alimentos y calefacción. La biomasa atizada para producción de calor en 2008 fue equivalente a 88.908,5 Mbep. Del total de biomasa producida, 86,2% corresponde a la leña y 13,8% al bagazo de caña de azúcar. La producción de biomasa representó el 68,8% de la producción total de energía primaria.

La mayor producción de biomasa se registró en Guatemala, 51,5% del total regional, seguida por Honduras, 15,6%, Nicaragua, 13,3% El Salvador, 8,1%, Costa Rica, 6,5%, Panamá, 4,3% y Belice, 0,7%. De la producción de leña (76.608,2 Mbep), Guatemala produjo 54,1%, Honduras 15,1%, Nicaragua 13,3%, El Salvador 7,1%, Costa Rica 5,7%, Panamá 4,1% y Belice 0,7%. En la producción de bagazo de caña de azúcar (12.300,3 Mbep) prácticamente se observó la misma tendencia con un ligero cambio entre Nicaragua y El Salvador, aunque con proporciones mucho menores que las de la leña. Guatemala produjo 35,6% del total, Honduras 19,2%, El Salvador 14,2%, Nicaragua 13%, Costa Rica 12%, Panamá 5,6% y Belice 0,3%.

Se estima que el 96,3% de la biomasa utilizada corresponda a la leña y 3,7% a bagazo de caña de azúcar y otros residuos agrícolas. De la leña producida, 2,8% fue enviada a centros de procesamiento y el 97,2% restante a los usuarios finales, de los cuales el sector residencial consumió 93,7%, el sector industrial 3,7%, los sectores comercial y de servicios públicos en conjunto consumieron 2,4% y el consumo del sector agrícola fue 0,04%. El bagazo de caña de azúcar se utiliza para generar electricidad, fabricar alcohol y producción industrial. La generación eléctrica absorbió 76% del bagazo total producido, el sector industrial 22,9% y las destilerías de alcohol 1,1%.

La producción de biocombustibles líquidos es una opción para el transporte como sustitutos de gasolina y diesel. Estudios de la CEPAL analizaron diferentes escenarios de crecimiento para la producción de bioetanol y biodiesel en los países del Istmo Centroamericano con consideraciones sobre beneficios y costos (CEPAL, 2007d; 2006b; 2009i).

## TRANSPORTE

Se conoce relativamente poco sobre el sector transporte de Centroamérica, su influencia en el consumo de energía y su impacto ambiental. Se ha prestado más atención al consumo de energía de fuentes fijas para generación térmica de electricidad. No obstante, el principal consumidor de derivados del petróleo en Centroamérica es el transporte. Sus porcentajes de participación respecto al consumo final de energía van del 24% en Nicaragua al 47% en Panamá, y si se considera solamente el consumo de derivados del petróleo, los porcentajes van del 47% en Nicaragua al 59% en Guatemala.

Entre los años 2000 y 2007, el parque de vehículos con motor que consume combustible, sin considerar los de arrastre, creció 5,4% en promedio por importaciones de los seis países (sin incluir a Belice). El crecimiento más notable fue el de Nicaragua (8,9%) y el menor en Costa Rica (2,8%). Por países el parque más numeroso es el de Guatemala, mientras que el menor es el de Nicaragua. En el año 2007 Guatemala representó casi el 34% del parque vehicular de la región. La estructura del parque automotor a nivel regional presentó cambios en el período 2000-2007 debido a un mayor crecimiento en Guatemala, Honduras y Nicaragua.

Costa Rica y Panamá presentan una elasticidad del parque automotor menor a uno respecto al PIB, lo que indica que el número de vehículos en circulación crece a menor velocidad que su PIB. El Salvador, Honduras, Guatemala y Nicaragua tienen una elasticidad mayor que uno, es decir, los vehículos en circulación crecen más rápido que el PIB (Figueroa, 2009). En todos los casos el coeficiente de correlación entre el parque y el PIB es elevado con parámetros estadísticos de significación.

#### **RECUADRO 8.1 ASPECTOS SOBRE EMISIONES VEHICULARES**

La calidad de los combustibles consumidos por los usuarios de los países centroamericanos está determinada por las especificaciones de su regulación. Aunque existen algunas variantes entre países, las regulaciones de la calidad de los combustibles vehiculares en la región son bastante homogéneas y corresponden a los combustibles de categoría 1 de acuerdo a la clasificación del *Worldwide Fuel Charter*.

Sobre las regulaciones de emisiones vehiculares se puede mencionar lo siguiente:

- Con excepción de Guatemala, todos los países cuentan con regulaciones del control de emisiones contaminantes vehiculares mediante sistemas de Inspección y Mantenimiento (I/M). Sin embargo, en la práctica solamente Costa Rica tiene un sistema I/M en funcionamiento. El Salvador, Nicaragua y Panamá lo aplican sólo a los vehículos usados importados, y Honduras no aplica ninguno. Además, las regulaciones presentan deficiencias en la definición de los procedimientos de prueba de emisiones o en los límites aplicados.
- Actualmente, sólo El Salvador y Costa Rica tienen normas de homologación que garantizan menores emisiones de los vehículos que se incorporan a la flota vehicular. Solamente las regulaciones de Costa Rica y Panamá establecen claramente la necesidad de mejorar la calidad de los combustibles, requisito previo para aprovechar los beneficios de vehículos con tecnología más limpia. Por lo tanto, es importante cambiar el enfoque de las políticas de control de emisiones vehiculares y orientarlas hacia la adecuada renovación de la flota vehicular para sustituir los vehículos más contaminantes por vehículos de tecnología más avanzada, sin restar importancia a la implementación de los sistemas I/M, que complementan las regulaciones de homologación vehicular.
- Un desafío pendiente es la reducción de los niveles de azufre de los combustibles. Esto se traduciría de inmediato en un descenso de las emisiones de los vehículos actuales y sería un paso para facilitar el uso de catalizadores mejorados, filtros y otras tecnologías para eliminar la mayor parte de la contaminación provocada por los vehículos que utilizan gasolina y diesel (PNUMA y PCFV, 2007). El contenido de azufre en el diesel varía: en Costa Rica es 0,04% (con un máximo de 0,215%), en los otros países son del orden de 0,50% máximo.

(Continúa)

(Continuación Recuadro 8.1)

- En las regulaciones de emisiones vehiculares es notoria la ausencia de mecanismos de evaluación del impacto de su implementación y divulgación. Tales mecanismos son importantes para cuantificar los beneficios de los sistemas I/M y de las regulaciones a la importación de vehículos y justificar los costos que estas regulaciones implican. Esto cobra aún más relevancia debido a la sensibilidad de la población general y de sectores como el transporte público ante los costos económicos asociados, no sólo por las pruebas de emisiones, sino también por el mantenimiento para cumplir con las regulaciones o por la prohibición de importar vehículos de bajo costo. Es recomendable, por lo tanto, que, siendo la flota vehicular la principal fuente emisora, las medidas de control de emisiones formen parte de una estrategia integral de control de la contaminación atmosférica, cuyo objetivo debe ser la reducción de las emisiones y la mejora en la calidad del aire en las zonas urbanas.

Fuente: SICA y CCAD, 2007

#### 8.4 ESCENARIO BASE SOBRE LA DEMANDA DE ENERGÍA 2008-2100

Para elaborar la prospectiva a muy largo plazo (2100) y conformar la línea base, se han tomado en cuenta los estudios y evaluaciones recientes de la CEPAL y las instituciones de la Integración Centroamericana, en particular la “Estrategia Energética Sustentable Centroamérica 2020” (Estrategia 2020; CEPAL, 2007b) y los estudios de planificación indicativa del Consejo de Electrificación de América Central (CEAC).

Ambos estudios y los resultados observados en los últimos años sirvieron de base para determinar los escenarios de mediano plazo (hasta el 2020 o 2023), y de largo plazo (a partir del 2023 hasta 2100). Las proyecciones del consumo de energía de los países se hicieron a partir del escenario macroeconómico base del proyecto con el modelo de planeación a largo plazo, *LEAP* (*Long Range Energy Alternatives Planning System*, por sus siglas en inglés).

La estimación del desarrollo del sistema energético se basa en las tendencias del PIB a largo plazo, derivadas de la inercia de los sistemas económicos y de cambios en su estructura sectorial (véase el cap. 2). Para cada sector se han modelado funciones de demanda de energía a partir de las series históricas, de los supuestos de la prospección energética de mediano plazo (2010–2020), de supuestos conservadores relacionados con mejoras tecnológicas (representados por una reducción de la intensidad energética) y la universalización del acceso de toda la población a las energías modernas. Por el lado de la oferta también se ha optado por un examen realista de las fuentes renovables de energía (FRE), que considera su mayor utilización de acuerdo con el potencial de los países y la diversificación de los combustibles fósiles con mayor participación del carbón y el gas natural.

Para cada país se ha construido una matriz energética que registra los flujos de energía desde los sectores de consumo, pasando por los centros de transformación, hasta los centros de producción y/o importación y transporte de los energéticos. Se han considerado los ajustes por pérdidas en la transmisión y transformación. También se evalúan las emisiones de GEI en las etapas del proceso en que son generadas. Todo ello es posible a partir de una modelación *bottom-up* de acuerdo a la filosofía del modelo *LEAP*.

La demanda de energía se modela con un sistema de ecuaciones dependientes de las variables conducentes (*drivers*) del sistema económico. En este estudio la modelación de la demanda incluye los siguientes sectores de consumo: residencial (familias), comercial, industrial, transporte y otros. El sector residencial se ha dividido en viviendas urbanas y viviendas rurales, cada uno subdividido en viviendas con electricidad y viviendas sin electricidad. Para cada uno se realizó una modelación de los diferentes usos finales (iluminación, cocción de alimentos, refrigeración y otros, teniendo en cuenta el energético utilizado en cada aplicación), para lo cual se utilizó la información de los balances energéticos y los resultados de algunas encuestas de usos finales en los países.

Los *drivers* del sector residencial son las proyecciones de población (su evolución urbana/rural y el número de personas por vivienda) y los supuestos de crecimiento de la electrificación rural acordes con las metas de la Estrategia 2020, suponiendo que todos los países logran la meta del acceso universal a las energías modernas entre 2025 y 2050. Los techos de proyección de la demanda de electricidad e hidrocarburos se fijaron hasta el 2023 de acuerdo al CEAC y la Estrategia 2020. A partir de ese año se asume un escenario tendencial movido por las proyecciones de población, del PIB y suponiendo mejoras tecnológicas conservadoras representadas por una reducción de las intensidades energéticas. Los *drivers* para los otros sectores (comercio, industria, transporte y otros) parten de las intensidades energéticas en los principales usos, manteniendo los dos supuestos referidos en los subperíodos 2009–2023 y 2023–2100.

Para el sector transporte se consideró una valuación reciente, en la que la demanda de combustibles parte de la estimación del parque automotor total, estructura por tipo de vehículos, tecnología, rendimientos y recorridos medios, los cuales permiten calcular los consumos específicos respectivos (Figueroa, 2009).

Para la población se utilizaron las proyecciones del Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía de la CEPAL (CELADE), que consideran la evolución demográfica urbana y rural hasta el año 2100. Dicha proyección estima un crecimiento promedio anual de 0,6% en el período 2007–2100, con diferencias entre países que van de 0,2% en Costa Rica hasta 0,6% en Guatemala. Esta tendencia generaría un crecimiento de 40,3 millones a 69,3 millones de habitantes entre los años referidos, con un máximo de 72,3 millones en el año 2075 (véase el cap. 2). De acuerdo con la evolución histórica reportada en censos y comparaciones con países de mayor desarrollo, se estimaron las trayectorias de la evolución del número de personas por vivienda, dato relevante al considerar la unidad habitacional como *driver* del consumo energético residencial<sup>8</sup>.

El proceso de urbanización es un factor determinante para el consumo de energía y la reducción de la dependencia de las fuentes tradicionales de energía como leña y residuos vegetales. La urbanización aumentará el grado de dependencia del consumo final de la electricidad y de los derivados de petróleo, estos últimos principalmente para satisfacer las necesidades de transporte terrestre de pasajeros y de carga.

---

<sup>8</sup> En el período 2007–2100 el número promedio de personas por vivienda en la región pasa de 4,4 a 2,9 en las zonas urbanas y de 5,6 a 3,7, en las zonas rurales.

La energía hidráulica es la fuente energética autóctona más importante para la generación de electricidad. La región cuenta con un potencial total de 22.000 MegaWatts (MW), de los cuales se ha explotado sólo un 17%. Esta evaluación considera una expansión fuerte durante las primeras décadas y otra más lenta a partir de la mitad del presente siglo, hasta llegar a un aprovechamiento del 50% del potencial hidroeléctrico identificado. Esta estimación puede considerarse conservadora, pero debe tenerse en cuenta la creciente oposición social a este tipo de desarrollos.

El consumo de biomasa como fuente tradicional de los hogares se reduce drásticamente en las primeras décadas del período de estudio, lo cual concuerda con los planes nacionales de desarrollo, con la Estrategia 2020 y los consensos internacionales, como los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). La biomasa permanece como insumo de procesos industriales de cogeneración y puede ser importante en las matrices energéticas de los países.

En cuanto a precios de los energéticos para el período 2010-2023 se han considerado los supuestos de los estudios referidos, ambos basados en proyecciones de organismos internacionales de energía. Se supone que a partir de 2023 se mantiene un escenario de precios relativos constantes. Entonces, el escenario base fue construido considerando escenarios actuales de precios de petróleo, acordes con los recomendados por las principales agencias y organismos internacionales de energía. Dichos escenarios de altos precios de los energéticos eran inimaginables en la década anterior o a principios de la actual, cuando se elaboraron y publicaron la mayor parte de las comunicaciones nacionales cambio climático.

El resultante escenario energético base (o línea evolutiva básica) no representa lo que tradicionalmente se conoce como *business as usual* porque toma en cuenta las respuestas iniciales de los agentes ante las políticas adoptadas por los gobiernos ante un escenario de precios altos del petróleo. Esta línea evolutiva permite hacer estimaciones sobre el impacto de políticas y estrategias energéticas, incluyendo programas específicos de mitigación de GEI. De igual forma puede servir de base para evaluar los efectos económicos del cambio climático en actividades específicas de la industria energética, siempre que se cuente con estimaciones de los impactos esperados en ellas. El horizonte de análisis es al año 2100 de acuerdo a lo establecido en el proyecto.

## SUPUESTOS PARA EL PERÍODO 2010 A 2023

Las tasas de crecimiento del consumo de los derivados del petróleo corresponden a las utilizadas en la Estrategia 2020 (véanse detalles en el recuadro 8.2). Los años 2007 y 2008 corresponden a los registros históricos.

En el sector eléctrico se utiliza la demanda de electricidad estimada por cada país, utilizada en el último estudio de planificación indicativa del CEAC (CEAC, 2009). Los combustibles utilizados por este sector corresponden a los utilizados en un despacho económico bajo condiciones hidrológicas promedio y suponiendo un plan de equipamiento conservador en cuanto al desarrollo de las fuentes renovables de energía<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> La producción de electricidad se ha estimado a partir de un desarrollo hidroeléctrico medio y de otras fuentes renovables, congruente con el escenario "A" de CEAC hasta el año 2023.



Las demandas sectoriales fueron construidas a partir de un modelo que va de “lo particular a lo general” (*bottom-up*, de acuerdo a la filosofía del *LEAP*), teniendo en cuenta las restricciones de los balances de energía, los registros históricos 2007 y 2008 y los dos supuestos explicados en los párrafos anteriores para el período 2010-2023. Se consideran tasas de electrificación y reducción del consumo de leña acordes con la Estrategia 2020.

En el caso de Belice se construyó un modelo *bottom-up* siguiendo los criterios anteriores, considerando tasas de crecimiento del consumo de derivados del petróleo congruentes con las observadas en países de la subregión de desarrollo similar y la información existente sobre nuevos emprendimientos de producción eléctrica, incluyendo las importaciones a través de la interconexión eléctrica con México.

## SUPUESTOS PARA EL PERÍODO 2024 A 2100

Para cada país se extiende el modelo *bottom-up* siguiendo criterios conservadores de mejora tecnológica (reducción de la intensidad energética), desarrollo de las fuentes renovables de energía y penetración de nuevos combustibles para producción de electricidad con una mayor tasa de penetración del gas natural en países de mayor ingreso y viceversa. El carbón tiene mayor penetración en países de menor ingreso, tendencia observable en la actualidad.<sup>10</sup>

En el período 2024-2100 los países continuarán desarrollando sus recursos renovables, llegando al 50% del potencial hidroeléctrico y al 90% del potencial geotérmico al año 2100, de acuerdo a las cifras oficiales de cada país. En energía eólica también se ha tomado una posición conservadora, pero congruente con las tendencias e interés actual por el desarrollo de esa tecnología. La energía solar y los biocombustibles no han sido considerados en el escenario base de planeación.

En todos los casos se ha supuesto una reducción de la intensidad energética, resultado de mejoras de procesos, introducción de nuevas tecnologías y en respuesta de la demanda ante precios crecientes de los hidrocarburos. Esta reducción fue estimada en forma conservadora, teniendo presente la historia reciente del consumo de derivados del petróleo y las elasticidades observadas en el período 1980-2006, especialmente después del 2020, congruente con el proceso de urbanización en marcha, con una mayor utilización de energéticos modernos y la sustitución de la leña.

El consumo de leña en las familias se reduce. A partir de 2040 solo permanece en las comunidades rurales como resultado de la penetración de las energías modernas y de la tendencia hacia la urbanización. Todos los países alcanzan el acceso universal a la electricidad en forma escalonada a partir de 2040, aunque persisten diferencias de consumo asociadas al ingreso. Países de menor ingreso consumirán menos energía y el consumo guardará congruencia con cada escenario macroeconómico. Todas estas consideraciones son congruentes con un supuesto de precios relativos constantes a partir de 2023. El cuadro 8.2 muestra un resumen por subperíodos de las tasas anuales de crecimiento del consumo de energía en la región y en cada país. El crecimiento de la demanda de energía está en el rango de 1,4% a 2,6%.

---

<sup>10</sup> Tendencia que resulta de un menor precio de la caloría útil del carbón comparada con la del fuel oil y la del gas natural y la no existencia de impuestos a las emisiones (*carbon taxes*). Desde el punto de vista de reservas, las del carbón son sustancialmente mayores que las de petróleo y gas natural.

**CUADRO 8.2**  
**CENTROAMÉRICA: TASAS DE CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA,**  
**ESCENARIO BASE 2010 A 2100**  
*(En porcentajes)*

País	2010–2025	2025–2050	2050–2075	2075–2100	2010–2100
Costa Rica	2,8	2,5	2,1	1,3	2,1
El Salvador	1,6	2,4	2,0	1,2	1,8
Guatemala	0,5	1,8	1,7	1,1	1,4
Honduras	2,7	2,0	1,7	1,1	1,8
Nicaragua	1,6	2,1	2,0	1,3	1,8
Panamá	3,2	2,9	2,6	1,8	2,5
Belice	4,9	2,5	2,3	1,7	2,6
Promedio Centroamérica	2,5	2,3	2,0	1,4	2,0

Fuente: Estadísticas CEPAL, estimaciones sobre la base de cifras oficiales.

El cuadro 8.3 muestra la evolución de la demanda de energía en el período 2010–2100, considerando los países, la desagregación de los principales sectores de consumo, los combustibles fósiles, su desagregación por sectores y las fuentes renovables. La demanda total de energía aumentaría aproximadamente cinco veces en 2100, a unos 1.103 Mbep. El país con mayor demanda seguiría siendo Guatemala, pero su participación bajaría de 35% a 23%, mientras las de Costa Rica, Belice y Panamá aumentarían. La tendencia de participación sectorial sugiere que el transporte, la industria y el comercio aumentarían significativamente, mientras que el sector residencial se reduciría. Al final del siglo, el transporte absorbería 48% del total, la industria 30%, el sector residencial 11% y el sector comercial 10%.

**CUADRO 8.3**  
**CENTROAMÉRICA: DEMANDA TOTAL DE ENERGÍA, PARTICIPACIÓN POR PAÍSES, SECTORES,**  
**COMBUSTIBLES FÓSILES Y FUENTES RENOVABLES**  
*(En millones de BEP y en porcentajes)*

	2010	2025	2050	2075	2100
Demanda total (Mbep)	215,0	282,8	489,3	794,6	1 103,0
<b>Demanda por país (En porcentajes)</b>					
Costa Rica	13,7	15,8	17,1	17,5	17,4
El Salvador	13,3	13,0	13,4	13,6	13,3
Guatemala	35,2	28,9	26,1	24,4	23,1
Honduras	16,8	19,0	17,9	16,6	15,9
Nicaragua	9,7	9,3	9,1	9,1	9,1
Panamá	10,4	12,6	14,8	17,1	19,4
Belice	0,9	1,4	1,5	1,6	1,8
<b>Demanda por sector (En porcentajes)</b>					
Transporte	28,9	35,4	41,8	45,8	47,9
Industria	17,4	22,0	25,9	28,3	29,8
Residencial	47,0	34,6	22,8	15,3	11,1
Comercial	5,8	7,0	8,5	9,4	10,0
Otros	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2
(Continúa)					

(Continuación Cuadro 8.3)

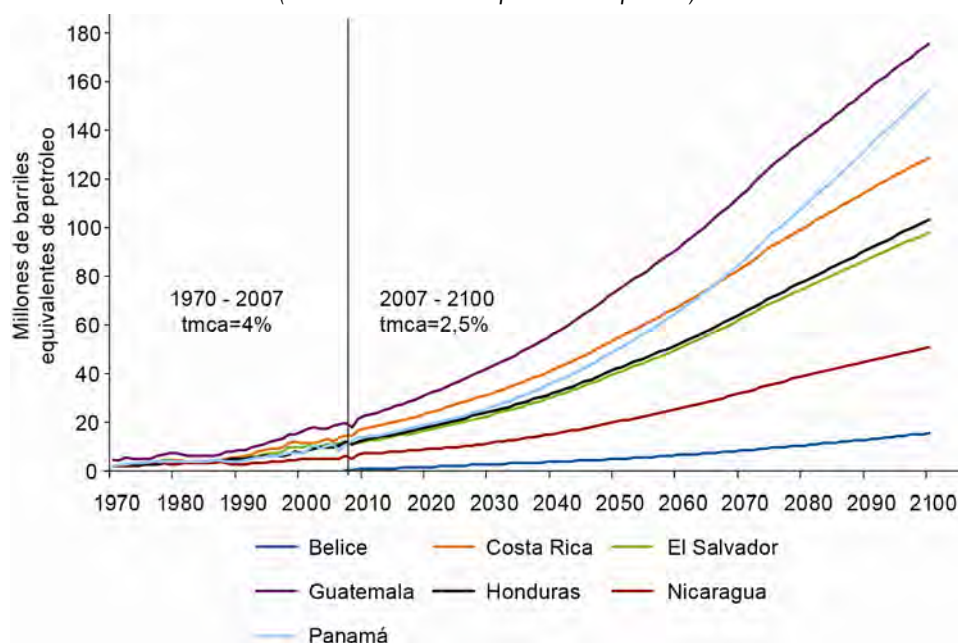
Demanda de hidrocarburos y otros combustibles fósiles					
Demanda total					
En porcentajes del total de la demanda	50,4	59,9	72,5	79,5	84,7
En Mbep	108,4	169,3	354,6	631,5	934,1
Demanda sectorial (%)					
Residencial	4,4	4,1	2,9	1,8	1,2
Industrial	16,1	17,5	17,1	17,1	17,0
Comercial	2,5	2,4	2,5	2,6	2,5
Transporte	57,3	59,1	57,6	57,5	56,5
Agropecuario	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Eléctrico	18,8	16,0	19,0	20,1	21,8
Demanda final de otros energéticos (biomasa y otras fuentes renovables)					
En porcentajes del total de la demanda	49,6	40,1	27,5	20,5	15,3

Fuente: CEPAL sobre la base de cifras oficiales y resultados de la modelación con LEAP.

De la demanda total de energía en 2100, 934,2 Mbep corresponderían a hidrocarburos y otros combustibles fósiles, aumentando su participación de 50% en 2010 a 85% en 2100. De estas fuentes, 57% sería utilizado por el transporte y 22% por la generación eléctrica. Las tasas promedio de crecimiento anual de la demanda de hidrocarburos son de 3,6% en Belice, 2,9% en Panamá, 2,6% en Costa Rica, 2,4% en El Salvador y Guatemala, 2,2% en Honduras y 2% en Nicaragua (véase el gráfico 8.6).

**GRÁFICO 8.6**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DE DEMANDA DE HIDROCARBUROS CON ESCENARIO BASE,**  
**1970-2100**

(En millones de barriles equivalentes de petróleo)



Fuente: Cifras oficiales de los países, estadísticas de las bases de datos de la CEPAL y estimaciones a partir de la modelación con LEAP.

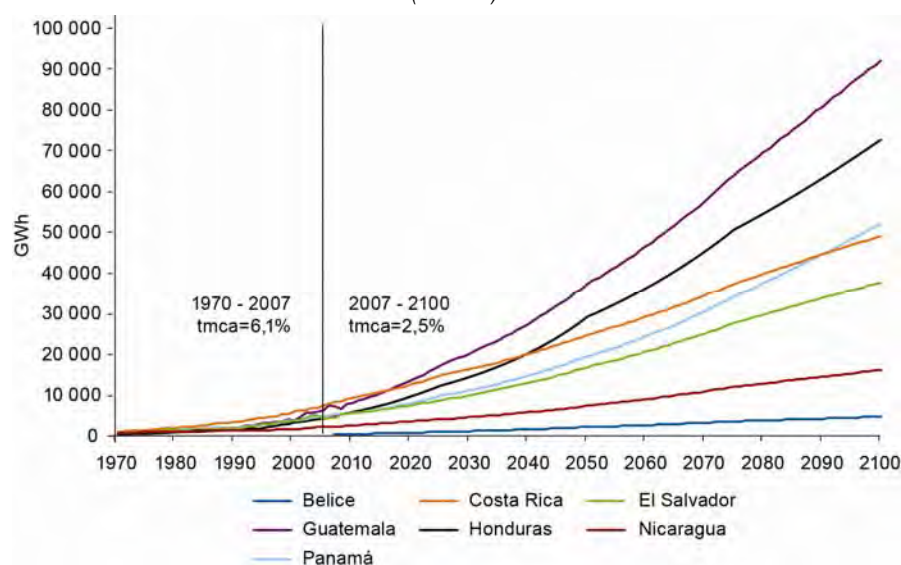
El escenario base supone que la demanda regional de energía eléctrica crecería a una tasa de 2,5% anual, variando entre países: Costa Rica 1,9%, Nicaragua 2,1%, El Salvador 2,2%, Panamá 2,5%, Belice, 2,6%, Guatemala 2,7% y Honduras 2,8%. En total, la demanda crecería diez veces, de 32.366 GWh en 2007 a 324.159 GWh en 2100. Históricamente Costa Rica ha sido el principal consumidor de energía eléctrica, pero durante este siglo sería sobrepasado consecutivamente por Guatemala, Honduras y Panamá (véanse el cuadro 8.4 y el gráfico 8.7).

**CUADRO 8.4**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DE DEMANDA DE ELECTRICIDAD CON ESCENARIO BASE, 2007 A 2100**  
(En GWh)

País	2010	2025	2050	2075	2100
Costa Rica	9 102	14 658	24 622	37 274	48 880
El Salvador	5 420	8 659	16 794	27 633	37 662
Guatemala	8 097	17 261	37 311	64 307	92 235
Honduras	5 788	12 275	29 186	50 738	72 838
Nicaragua	2 404	3 896	7 215	11 896	15 981
Panamá	5 478	9 849	19 452	34 132	51 967
Belice	465	976	2 123	3 465	4 596
Centroamérica	36 754	67 574	136 703	229 445	324 159

Fuente: Estadísticas del subsector eléctrico, estimaciones de la CEPAL sobre la base de cifras oficiales y el modelo *LEAP*.

**GRÁFICO 8.7**  
**CENTROAMÉRICA: EVOLUCIÓN DE DEMANDA DE ELECTRICIDAD CON ESCENARIO BASE, 1970 A 2100**  
(En GWh)



Nota: tasa media de crecimiento anual –tmca.

Fuente: Estadísticas del subsector eléctrico, estimaciones de la CEPAL sobre la base de cifras oficiales y el modelo *LEAP*.

Al final del período la estructura del mercado sería diferente a la actual. El sector residencial, principal consumidor de energía eléctrica, pasaría al tercer sitio (de 36% en 2007 a 31% en 2100),

siendo reemplazado por el sector industrial (de 30% a 34%) y por el sector comercial (de 29% a 34%) (véase el cuadro 8.5). Mientras tanto, la oferta total de energía eléctrica en la región llegaría a 350.863 GWh en 2100, de los cuales 374 GWh serían importados por Belice de países externos a la región. La generación eléctrica sería de 350.489 GWh. El país con mayor disponibilidad de energía eléctrica sería Guatemala con 29,7%, seguido por Honduras, 20,9%, Panamá, 16,8%, Costa Rica, 15,2%, El Salvador, 11%, Nicaragua, 5,2% y Belice, 1,3% (véase el cuadro 8.6).

**CUADRO 8.5**  
**CENTROAMÉRICA: DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR SECTOR, ESCENARIO BASE EN 2100**  
(En GWh)

Sector	Total	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Belice
Total	324 159	48 880	37 662	92 235	72 838	15 981	51 967	4 596
Residencial	99 539	7 932	5 417	24 077	45 462	3 921	10 233	2 497
Comercial	108 911	20 810	10 311	25 355	9 837	5 512	35 721	1 365
Industrial	110 717	18 961	21 797	42 387	15 158	5 947	5 753	714
Otros	4 992	1 177	137	416	2 381	601	260	20

Fuente: Estimaciones CEPAL sobre la base del modelo LEAP.

**CUADRO 8.6**  
**CENTROAMÉRICA: GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON ESCENARIO BASE EN 2100, POR FUENTES**  
(En miles de GWh)

País	Total	Hidro	Geo	Vapor	Diesel	Gas	Ciclo combinado	Carbón	Cogeneración	Eólica
Costa Rica	53,3	15,2	2,2	0,7	2,4	1,7	26,5		0,1	4,4
El Salvador	38,5	6,4	2,8	1,0	2,2	0,6	13,4	5,2	6,1	0,9
Guatemala	104,2	12,7	5,2	6,8	15,8	1,5		57,3	3,7	1,3
Honduras	73,4	38,1	0,5	0,7	4,6	0,9	13,0	13,8	0,4	1,3
Nicaragua	18,1	4,1	5,3	1,0	0,7	0,2	3,6	1,6	0,4	1,3
Panamá	58,8	11,7		1,1	2,9	1,4	38,8	1,6		1,3
Belice	4,2	2,2		1,4					0,3	0,3
Centroamérica	350,5	90,3	15,9	12,8	28,5	6,4	95,3	79,4	11,0	10,8

Nota: Vapor representa las termoeléctricas convencionales que funcionan con fuel, igual que los grupos electrógenos ciclo diesel. Los Ciclos combinados operan con gas natural, las turbinas de gas (Gas) con diesel y la Cogeneración con residuos de biomasa.

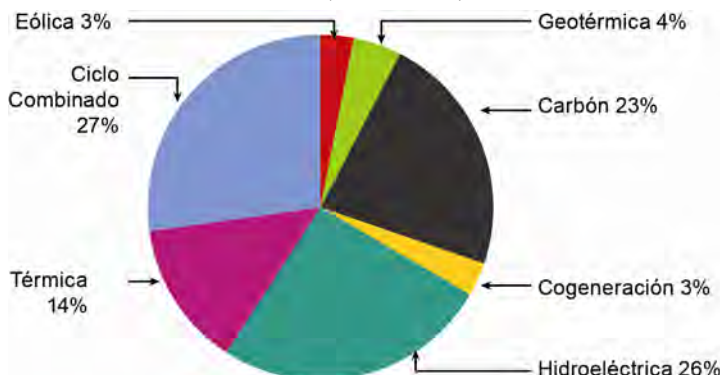
Fuente: Estimaciones de la CEPAL, sobre la base del modelo LEAP.

En 2100 la producción de energía eléctrica con fuentes renovables habría sido desplazada por los combustibles fósiles, llegando éstos a 64% de la generación regional relativo al 37% en 2008 (véase el gráfico 8.8). En relación con la situación de 2008 (véase el gráfico 8.4), la hidroeléctrica bajaría de 50% a 26% en 2100, la térmica de 35% a 14%, la geotérmica de 8% a 5% y la cogeneración de 4% a 3%. Las fuentes que crecerían serían carbón, de 3% a 23%, ciclo combinado a base de gas natural de menos de 1% a 27%, y la eólica de menos de 1% a 3%. La contribución de fuentes renovables bajaría de 63% en 2008 a 36% al final del siglo.



**GRÁFICO 8. 8**  
**CENTROAMÉRICA: GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, POR TIPO**  
**DE TECNOLOGÍA CON ESCENARIO BASE EN 2100**

Total = (350.489 GWh)



Fuente: Estimaciones de CEPAL, sobre la base del modelo LEAP.

Las emisiones de la actividad energética asociadas a este escenario base con los supuestos del modelo *LEAP* aumentarían a 429 millones de TCO<sub>2e</sub> comparado con los 50,6 millones estimados en 2007 por OLADE (OLADE, 2007). Desde el punto de vista de la seguridad y eficiencia energéticas, como del acceso a la electricidad y emisiones frente al cambio climático, existen propuestas de esfuerzos superiores a los de este escenario base.

## 8.5 POLÍTICA ENERGÉTICA

Es conveniente mencionar los cambios drásticos que han experimentado las industrias energéticas de los países, especialmente a partir de la década de los noventa, cuando los países aprobaron reformas para liberalizar las actividades del sector, reducir la participación estatal y permitir una mayor participación del sector privado. Los beneficios y costos de dichas reformas han sido muy discutidos. En varios casos fue necesario realizar ajustes con el propósito de corregir fallas de mercado (por ejemplo para el fomento de las FRE y la facilitación de su conexión en las redes de baja tensión).

Durante la presente década, en especial a partir del año 2003, se ha presentado un escenario de altos precios del petróleo y sus derivados, situación que ha tenido repercusiones a nivel mundial y ha obligado a muchos países a tomar acciones para promover un mayor uso de las FRE, los programas de eficiencia energética y la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías. Ello contrasta con las dificultades de la década de los noventa, cuando los bajos precios del petróleo dificultaron el desarrollo de las acciones antes referidas, especialmente en países con carencia y/o debilidad de políticas e instrumentos. Las dificultades fueron aún mayores en los países cuyo desarrollo energético quedó en manos del mercado.

La reciente crisis de los precios del petróleo perjudicó seriamente a los países centroamericanos por ser importadores netos. La demanda de energías modernas (derivados del petróleo y electricidad) ha reaccionado en concordancia con la evolución de las economías de los países, los precios internacionales de los energéticos y las políticas y sistemas de precios (diferentes en cada país), observándose un menor ritmo en el crecimiento del consumo de energéticos.

En las próximas décadas la principal preocupación continuará siendo la dependencia energética externa, la cual se acrecienta en forma sostenida en todo el período de estudio. Por ejemplo, a nivel de consumo final, actualmente alrededor del 50% de la energía en la región tiene

origen autóctono: biomasa e hidroelectricidad principalmente. Al final del período de estudio (2100), dicho indicador habrá caído al 20%. La situación mejorará en la medida que los países incorporen otros recursos autóctonos y tecnologías a su matriz energética.

Un referente importante es la “Estrategia energética sustentable centroamericana 2020”, aprobada por los Ministros de Energía a finales de 2007 y posteriormente por los Presidentes de SICA (CEPAL, 2007b). Su propósito es establecer directivas claras para lograr el desarrollo sustentable del sector. Para delinearla se realizaron estudios prospectivos que consideraron, entre otros factores, las fuentes energéticas disponibles a nivel mundial, los compromisos internacionales de la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible de Johannesburgo, la sustentabilidad del sector, la situación socioeconómica, el sistema energético existente, las emisiones de GEI y el ámbito institucional de la región.

Esta estrategia provee a los países una visión común de desarrollo e integración energética, estableciendo metas para: i) reducir la dependencia de los hidrocarburos; ii) aumentar la participación de las fuentes renovables; iii) reducir la emisión de GEI; iv) aumentar la cobertura de energía eléctrica y v) incrementar la eficiencia de la oferta y la demanda de energía (véase el recuadro 8.2).

#### **RECUADRO 8.2** **ESTRATEGIA ENERGÉTICA SUSTENTABLE DE CENTROAMÉRICA 2020**

##### **OBJETIVO GENERAL:**

Asegurar el abastecimiento energético de Centroamérica en calidad, cantidad y diversidad de fuentes necesarias para garantizar el desarrollo sostenible, teniendo en cuenta la equidad social, el crecimiento económico, la gobernabilidad y compatibilidad con el ambiente, de acuerdo con los compromisos ambientales internacionales.

##### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Reducir la tasa de crecimiento de la demanda de derivados de petróleo (por sectores de consumo y generación de energía eléctrica).
- Reducir la dependencia energética de fuentes importadas, aumentando la oferta de fuentes renovables de energía.
- Mejorar la eficiencia y promover el uso racional de la energía, tanto de los sectores de la demanda como de la oferta.
- Incorporar nuevas tecnologías y fuentes de energía menos contaminantes.
- Aumentar el acceso a los servicios energéticos de las poblaciones de menores ingresos y aisladas.
- Mitigar los efectos del uso y producción de energía sobre el ambiente.

##### **METAS DE LA ESTRATEGIA ENERGÉTICA SUSTENTABLE PARA EL AÑO 2020**

##### **Acceso a la energía por parte de la población con menos recursos**

1. Alcanzar al menos el 90% de cobertura eléctrica en cada país.

(Continúa)

(Continuación Recuadro 8.2)

#### **Uso racional y eficiencia energética**

2. Reducir en 10% el consumo de leña para cocción mediante la utilización de cocinas más eficientes en un millón de hogares rurales.
3. Reducir en 12% el uso de energía eléctrica en los sectores residencial, comercial, industrial y alumbrado público mediante la introducción de sistemas de iluminación eficientes.
4. Reducir en 35% el uso de energía eléctrica para refrigeración en el sector residencial mediante la sustitución de refrigeradores obsoletos por unidades más eficientes en 2,7 millones de hogares.
5. Reducir en 10% el uso de energía eléctrica en el sector industrial mediante motores eficientes.
6. Reducir al menos al 12% las pérdidas de energía en los sistemas eléctricos de los países.
7. Reducir en 10% el consumo de derivados del petróleo en el transporte público y privado mediante medidas de manejo eficiente, aplicación de normas para la importación de vehículos y fomento al transporte público, entre otros.

#### **Fuentes renovables de energía**

8. Aumentar en 11% la participación de fuentes renovables de producción de electricidad, principalmente mediante centrales hidroeléctricas.

#### **Biocombustibles para el sector transporte**

9. Sustituir el 15% del consumo de derivados del petróleo en el transporte público y privado con biocombustibles.

#### **Cambio climático**

10. Reducir en 20% la emisión de GEI respecto al escenario tendencial en el año 2020, maximizando la aplicación de los certificados de reducción de carbono.

Fuente: Elaboración propia con base en CEPAL (2007b).

Para esta estrategia se diseñaron y analizaron seis escenarios de desarrollo del sector energético centroamericano a largo plazo. El primero mantiene la tendencia actual de la industria energética centroamericana, mientras que los siguientes cuatro consideran la aplicación creciente de medidas para hacer un uso racional de la energía (disminuir el consumo de leña, usar lámparas, cocinas y motores más eficientes, entre otros) y aumentan la participación de fuentes renovables. El sexto escenario incluye todas las medidas anteriores y da lugar al plan eléctrico de menor valor presente, que resultó ser aquel con la máxima participación de centrales hidroeléctricas.

Si se comparan los dos escenarios extremos, el tendencial y el que incorpora todas las mejoras de uso y provisión de energía, destacan varios impactos positivos del segundo: i) se reduciría la importación de 28 millones de barriles de derivados del petróleo, 4 millones de toneladas de carbón y 1.300 millones de metros cúbicos de gas natural; ii) se emitirían 28 millones de toneladas menos de GEI y otros contaminantes primarios y secundarios; iii) aumentaría la cobertura eléctrica para 700.000 viviendas y iv) se cumplirían los compromisos de Johannesburgo respecto al porcentaje de la oferta de energía primaria generada por fuentes renovables.

La estrategia incluye una estimación de las inversiones correspondientes, entre otras la expansión del sistema de generación eléctrica, la cogeneración en ingenios azucareros, la expansión de la infraestructura petrolera y de gas natural y medidas de uso racional de energía, producción de biocombustibles y ampliación de la cobertura eléctrica para cumplir los ODM. La inversión requerida para asegurar el suministro de energía a los países de Centroamérica oscilaría entre 13.000 y 18.000 millones de dólares (en valores de 2005) para los escenarios extremos, 92% correspondiente a las nuevas centrales de generación eléctrica (CEPAL, 2007b; 2009i).

En seguimiento a la implementación, los países han identificado e impulsan más de sesenta proyectos agrupados en la “Matriz de Acciones para la Integración y Desarrollo Energético de Centroamérica”. A mediados de 2011 entrará en operación la red troncal del Sistema de Interconexión Eléctrica de América Central (SIEPAC), inversión cercana a los quinientos millones de dólares que permitirá la gradual consolidación de un mercado eléctrico regional de mayor escala y ofrecerá nuevas oportunidades para desarrollar fuentes renovables de energía.

## 8.6 CONSIDERACIONES FINALES

1. En todos los países de la región se manifiesta la preocupación por la seguridad energética y la reducción de la vulnerabilidad ante los choques petroleros. Todos los países realizan grandes esfuerzos para impulsar las fuentes renovables de energía y los programas de eficiencia energética. Igualmente identifican e impulsan acciones para la diversificación de los combustibles fósiles. Por ejemplo, una evaluación reciente de CEPAL muestra que, entre 2009 y 2011, los países centroamericanos incorporarán 1.527 MW de energía renovable, que representa inversiones de alrededor de 3.400 millones de dólares (CEPAL, 2009e). La mayor parte de los países han aprobado leyes para promover las FRE y han iniciado proyectos de ahorro y uso eficiente de energía por la industria, el comercio y las familias. Se estima que en los últimos años se han reemplazado más de cinco millones de luminarias incandescentes por bombillos fluorescentes compactos en los hogares centroamericanos.
2. Las FRE tienen un alto potencial para reducir la utilización de combustibles fósiles y las emisiones de GEI asociadas. Todos los países tienen identificadas carteras de proyectos hidroeléctricos de diferentes escalas. De igual forma son significativos los recursos eólicos y geotérmicos. Lo anterior muestra un buen panorama para las FRE pero hacen falta otras acciones para garantizar su sostenibilidad. Por ejemplo, es necesario facilitar el acceso de las FRE a las redes de baja tensión y buscar mecanismos financieros favorables para agilizar su desarrollo.
3. No obstante las buenas perspectivas de corto plazo que actualmente se manifiestan en todos los países, el desarrollo de nuevos emprendimientos renovables enfrentan cada vez mayores obstáculos por parte de las comunidades y oposición de los grupos ambientalistas. Es conveniente ordenar las discusiones en torno al aprovechamiento integrado de los recursos naturales, valorizando los costos y beneficios sociales locales y la mitigación de daños ambientales de cada alternativa. El sector enfrenta el reto y la oportunidad de crear una nueva generación de diseños que protejan los servicios ecosistémicos y tomen en cuenta las necesidades de las comunidades locales (servicios sociales, electrificación, acceso a agua de riego y otros insumos productivos) y los aportes de la gestión sostenible de las cuencas.

4. En el largo plazo los recursos biomásicos y solares son opciones que jugarán un papel muy importante. Las tecnologías modernas para el aprovechamiento de los residuos biomásicos en sistemas de aprovechamiento de calor y producción de electricidad –hasta ahora utilizado solamente por los ingenios azucareros– constituyen una opción de gran potencial en la región.
5. Los biocombustibles también tienen un gran potencial, sin embargo los países aun deben hacer esfuerzos para vencer los obstáculos a su incorporación en los mercados nacionales, entre ellos el ordenamiento territorial para reducir riesgos de seguridad alimentaria y de pérdida de la cobertura forestal. La conformación de cadenas sustentables de biocombustibles –producción, distribución, comercialización y consumo– requiere un considerable esfuerzo que, dependiendo de las características del sector agrícola y de la organización de la industria de los hidrocarburos, podría enfrentar complicaciones.
6. La energía solar juega actualmente un papel pequeño, siendo utilizada directamente para calentar agua y como energía fotovoltaica en comunidades rurales. La energía solar concentrada podría ingresar comercialmente en la región a partir de la tercera década de este siglo. Indudablemente estas opciones tendrán un papel muy importante, tanto para el abastecimiento directo a los usuarios, como para su comercialización en redes nacionales.
7. El potencial de incremento de la eficiencia energética en los países de la región es significativo y se puede concretar por medio de la adopción de patrones de uso más racionales y mejores tecnologías de conversión energética, traducándose en ventajas técnicas, económicas y ambientales. La eficiencia energética se asocia a la eficiencia económica e incluye cambios tecnológicos, económicos, institucionales y de comportamiento. Todos los países han emprendido este tipo de programas, especialmente en iluminación y en algunos casos en refrigeración de ambientes comerciales y en el uso de motores eficientes en la industria. No existen cifras auditadas de los beneficios obtenidos a la fecha. Cálculos iniciales para iluminación y refrigeradores eficientes muestran beneficios altos, tanto en la reducción de GEI como en la relación beneficio/costo (CEPAL, 2011a, por publicar). Aun se deben realizar esfuerzos para lograr la efectiva materialización y avance sustentable de los programas de ahorro y uso eficiente de energía. Quizás el principal obstáculo son los subsidios y otras distorsiones en algunos países. Adicionalmente se debe trabajar en la educación y difusión de las posibilidades de acción, buscar esquemas de financiamiento de los proyectos y adaptar los marcos regulatorios.
8. La preocupación también ha llegado al sector transporte, el mayor consumidor de derivados del petróleo, especialmente en lo referente a impulsar un transporte público más seguro y eficiente. La institucionalidad del sector es débil y la información es escasa. Los registros del parque automotor son incompletos, pero se sabe que su crecimiento ha sido muy alto. Ningún país ha aplicado una política o regulación coherente para modernizar el parque automotor y mejorar su rendimiento y emisiones, tampoco para regular la importación de autos usados. En la mayor parte de los países no existe una vinculación formal y sólida entre las instituciones encargadas de los sectores de energía y transporte para tratar asuntos relacionados con la eficiencia energética.
9. No obstante, todos los países reportan iniciativas interesantes para hacer más seguro y eficiente el transporte público y ordenar las vialidades metropolitanas, la mayor parte de ellas impulsadas por las municipalidades de las ciudades capitales. Se han creado



programas para renovar las flotillas de transporte público, introducir autobuses articulados con carriles dedicados, rehabilitar algunos ferrocarriles e impulsar proyectos de mayor envergadura como un metro urbano y un tren eléctrico en dos países. Sin embargo, sobre el impacto que dichos proyectos tendrán en la reducción del consumo de combustibles y de GEI sólo hay evaluaciones parciales. Las acciones e iniciativas para reducir la emisión de GEI y otros gases contaminantes deberán continuar, por ejemplo mediante el uso de biocombustibles y la incorporación de sistemas inteligentes de transporte para optimizar las rutas. Otro tema importante, que requerirá la discusión multisectorial y la armonización regional, es la revisión de las políticas de subsidios al transporte y a los productos derivados del petróleo para emitir señales correctas a la economía e incentivar la eficiencia y la adopción de sistemas de transporte sostenibles.

10. Los países de la región son importadores netos de petróleo y sus derivados, por lo cual sus precios altos y su volatilidad les causan serios perjuicios económicos. Durante las próximas décadas se esperan precios crecientes de petróleo y sus derivados, tanto por reducción del balance oferta-demanda, como por costos de producción, aunados a restricciones ambientales y factores climáticos cada vez más inciertos y agresivos. Todo ello generaría una situación de mayor vulnerabilidad en la región.
11. En el sector energético, el recurso más afectado por el cambio climático será el hídrico, tanto por una probable reducción y su mayor variabilidad. Los resultados de cuatro modelos regionales de clima y tres escenarios analizados permiten visualizar una tendencia a la reducción de las lluvias, con mayor afectación en los cinco países de la parte norte del istmo. De igual forma se visualiza que las reducciones se acentuarían en la segunda mitad del presente siglo (véase el cap. 4). Los resultados anteriores no pueden considerarse como negativos para los desarrolladores de proyectos hidroeléctricos en el sentido que la posible merma de los aportes hídricos no debe reducir los beneficios de los proyectos, por lo menos en un plazo de 20 a 30 años.
12. Actualmente, dados los escenarios de precipitación y disponibilidad de agua con el cambio climático, se realiza un estudio prospectivo sobre el impacto en la producción hidroeléctrica en los ríos Chixoy (Guatemala) y Lempa (El Salvador).

## 9. TURISMO

### 9.1 INTRODUCCIÓN<sup>1</sup>

Los resultados de la investigación científica sobre cambio climático y sus importantes efectos en los patrones del clima (IPCC, 2007d) han provocado preocupación general por el futuro del turismo en muchas partes del mundo (Todd, 2003). Los efectos de los cambios de temperatura en el sector han sido tema de investigación importante desde hace mucho tiempo<sup>2</sup>, pero el interés mayor se ha ocupado de los efectos sobre la demanda turística en países con variaciones climáticas estacionales marcadas, no tanto en los de temperaturas cálidas durante todo el año, como los tropicales.

Este capítulo analiza la vulnerabilidad del turismo al cambio climático en Centroamérica y examina políticas de adaptación que podrían ayudar a que la actividad resista las condiciones adversas precipitadas por tal fenómeno. El análisis se concentra en el turismo de ocio y en el orientado a la naturaleza, más que en el gran turismo comercial y familiar. Los propósitos de las visitas de extranjeros son muy diferentes según los países, y la limitada información estadística hace difícil entender sus patrones. Las estadísticas de la Organización Mundial de Turismo (2010) muestran que Belice, Costa Rica y Nicaragua atrajeron una mayor proporción de turistas de ocio en la región con 95%, 75% y 75% en 2008, respectivamente.

El impacto del cambio climático sobre el turismo en Centroamérica no ha sido muy explorado, aunque el efecto de los eventos extremos es bien conocido. Desde 2003, las pérdidas económicas por huracanes han significado caídas del 2% al 3% del PIB del año del evento en Centroamérica y México (Nagy, G. y otros, 2006). Algunos de los sitios más vulnerables al cambio climático en América Latina son precisamente los de la región en estudio. Honduras, Nicaragua y El Salvador figuran entre ellos de acuerdo con el Informe Stern (2007). Las primeras comunicaciones nacionales sobre cambio climático de los países de Centroamérica identifican fenómenos importantes que muy probablemente impactarán al turismo.

Este capítulo examina la importancia económica del turismo en Centroamérica, considera los posibles impactos del cambio climático en este sector, examina las normas y leyes vigentes y considera otras que podrían ayudar al turismo de la región a adaptarse al cambio climático.

---

<sup>1</sup> Este capítulo se basa en el estudio “Cambio climático y retos para el sector turismo de Centroamérica” (Schatan, Montiel y Romero, 2010).

<sup>2</sup> Una compilación bibliográfica exhaustiva se encuentra en Scott, Jones y McBoyle (2006).

## 9.2 IMPORTANCIA DE LA ACTIVIDAD TURÍSTICA EN CENTROAMÉRICA

La actividad turística en Centroamérica ha sido muy dinámica en los años recientes con una tasa del 10% de crecimiento anual en el período 1995-2008, llegando a representar el 6,4% del PIB regional en 2008 (sin incluir a Belice, donde la contribución fue mucho mayor, el 20,3% del PIB el mismo año). Estados Unidos proporciona el mayor número de turistas (el 30% en 2008), en parte porque es el país más grande y desarrollado cercano a la región. Europa contribuyó con el 9% del turismo total el mismo año, aunque su participación se ha reducido en los años recientes, considerando que en 1995 aportó el 14,5% (OMC, 2008).

El turismo intrarregional también ha crecido rápidamente, representando el 42,4% de las visitas a Centroamérica en 2008 (OMC, 2008). Esta tendencia se explica por la profundización de la integración regional y las nuevas facilidades para viajar. La integración económica y comercial ha ido acompañada del mejoramiento de la infraestructura carretera, mientras que las operaciones fronterizas se han vuelto más expeditas, lo que ha facilitado los cruces de centroamericanos y viajeros de otros países.

No obstante, el desarrollo del turismo en la región ha sido heterogéneo. En 2008 Costa Rica y Guatemala fueron, por mucho, los países que recibieron más visitantes del exterior, 2,4 millones y 1,7 millones, respectivamente. Costa Rica tiene el mayor número de cuartos de hotel para visitantes, pero la oferta hotelera se ha expandido rápidamente en otros países también (OMC, 2008).

La contribución económica del turismo a los países de la región depende no sólo del número de visitantes, sino del gasto por turista, la infraestructura aérea, terrestre y marítima y las atracciones. Por ejemplo, cada turista en Panamá gasta casi seis veces más que lo que gasta uno en Nicaragua. Entre estos extremos, las diferencias también son muy grandes: el gasto por turista en Costa Rica y El Salvador es alrededor de un 40% mayor que los de Guatemala y Honduras (CEPAL, 2009j).

Hay esfuerzos regionales específicos para integrar el turismo, lo cual podría ayudar a nivelar el ingreso turístico de los países. El Plan Estratégico para el Desarrollo del Turismo Sostenible 2009-2013, llevado a cabo por los ministerios de turismo de los países y el Sistema de Integración del Turismo Centroamericano (SITCA) (SITCA, 2008), busca desarrollar el turismo regional, facilitando los procesos y trámites migratorios y habilitando las rutas y sistemas de comunicación para ofrecer planes adecuados a los intereses específicos de los turistas.

También hay esfuerzos para promover la región en conjunto con diversas ofertas a partir de los atractivos principales de cada país. Costa Rica destaca como sitio ecoturístico, mientras que Panamá ha sido tradicionalmente atractivo para las visitas de negocios por ser un importante centro financiero con intensa actividad comercial (puerto libre de impuestos, localización geográfica y el Canal de Panamá). Además, Panamá ha empezado a fomentar el turismo “sol-mar-arena” y el ecoturismo con gran éxito en los años recientes. Guatemala ha aprovechado tradicionalmente su legado cultural, con renovado impulso en los últimos años. El Salvador se ha beneficiado de su creciente población migratoria a los Estados Unidos, la cual garantiza un flujo considerable de visitas familiares. Últimamente ha desarrollado importantes sitios de playa que reciben numerosos visitantes centroamericanos, principalmente de Guatemala. Honduras ha desarrollado el turismo (básicamente “sol-mar-arena”) en una pequeña parte de su territorio, aunque su potencial —considerando sus vastos recursos naturales— es mucho mayor. Nicaragua posee biodiversidad, playas y montañas muy atractivas, pero apenas recientemente ha empezado a promover la inversión en el sector.

Debido a información insuficiente, el presente análisis presenta algunas limitaciones en la estimación de los efectos del cambio climático en el sector y las medidas de adaptación requeridas. En primer lugar, no es posible distinguir claramente entre las visitas de ocio y las de otros propósitos, tales como viajes de negocios, visitas familiares de migrantes e incluso migración (sin visa legal). Segundo, la mayor parte de la información sobre turismo nacional no está disponible, a pesar de su importancia, al menos para algunos países. Tercero, el flujo de ciudadanos estadounidenses retirados que han elegido países centroamericanos como segunda residencia cae en una categoría muy próxima al turismo, pero la mayoría no está registrada como tal. A pesar de estas limitaciones, nos enfocaremos principalmente en los posibles efectos del cambio climático en los sitios de turismo de ocio, lo cual ayudará parcialmente a superar las dificultades mencionadas.

Resumiendo, la industria turística ha crecido en términos de visitas e ingreso. Más aún, es una importante fuente de empleo. Sin embargo, como discutiremos más adelante, el futuro del turismo de ocio en Centroamérica dependerá en parte de la preservación del ambiente y del impacto del cambio climático. Los cambios en las condiciones actuales podrían alterar los frágiles ecosistemas y las perspectivas de la industria en el futuro. Es posible que el turismo intrarregional, que no está especializado en turismo de ocio, se vea menos afectado que el proveniente de Estados Unidos y Europa.

### 9.3 ESCENARIOS DE TEMPERATURAS EN LOS SITIOS TURÍSTICOS DE CENTROAMÉRICA A 2050

El cambio climático impactará el desarrollo futuro del turismo en Centroamérica porque la región es muy vulnerable al fenómeno. En esta sección analizaremos los cambios de temperatura esperados en los principales sitios de turismo de ocio de Centroamérica en 2020 y 2050. A continuación consideraremos otros impactos en las áreas turísticas, incluyendo eventos extremos climáticos. Luego analizaremos características específicas de los países para evaluar sus fortalezas y debilidades frente al cambio climático. Finalmente, realizaremos un breve análisis de las estructuras legales y reguladoras del ambiente y el cambio climático de los países, las cuales son parte de las medidas de adaptación (y de mitigación en algunos casos) que están siendo tomadas.

Uno de los efectos más importantes del cambio climático es el incremento de la temperatura. De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007a; por sus siglas en inglés), la región latinoamericana ha experimentado un aumento de 1 °C en las últimas décadas y probablemente experimentará aumentos de 1 °C a 4 °C en lo que resta del siglo XXI. El análisis de largo plazo de los datos climáticos diarios (1961-2003) de Centroamérica y el norte de Sudamérica (Aguilar y otros, 2005) identifica una variedad de cambios en los valores extremos de temperatura y precipitación en las últimas décadas. La región en conjunto se ha estado calentando en las últimas décadas, al tiempo que las temperaturas extremas han variado. El fenómeno está ocurriendo sobre todo en el verano y el otoño boreal, que coinciden, grosso modo, con la estación lluviosa (véase el cap. 1).

Las mayores temperaturas no han afectado al turismo hasta ahora, pero podrían ser un elemento adverso en el futuro. Para analizar este problema se eligieron 42 de los sitios de turismo de ocio más importantes de la región (véase mapa 9.1)<sup>3</sup>. La mayoría de estos destinos turísticos se localiza en la costa del Pacífico, otros en la costa del Caribe (principalmente en Belice, Honduras y Panamá) y unos pocos tierra adentro.

---

<sup>3</sup> La información de importantes sitios de Guatemala no está disponible.

**MAPA 9.1**  
**CENTROAMÉRICA: UBICACIÓN DE CENTROS TURISTICOS SELECCIONADOS**



Fuente: Elaboración propia con Google Inc, 2009.

De acuerdo con el Modelo de Investigación Interdisciplinaria del Clima (MIROC) (CCSR y otros, 2004)<sup>4</sup>, todos los sitios seleccionados experimentarán aumentos de temperatura por el cambio climático. Para nuestro análisis elegimos los pronósticos de temperatura promedio (máxima-mínima) de los años 2020 y 2050, así como las de los meses de julio y diciembre, en los que ocurre la mayor parte del turismo de ocio en la mayoría de los países de la región. Algunos de los países estudiados tienen su mayor afluencia turística en junio y enero, pero la elevación de la temperatura en estos meses es similar a la de julio y diciembre.

Los aumentos de temperatura estimados en la muestra de destinos turísticos son mucho mayores en julio y diciembre en las proyecciones de 2020 y 2050 (véase el anexo 1). Las temperaturas en diciembre de 2020 aumentarán entre 1 °C y 1,40 °C. Los menores incrementos se presentarán en varios sitios de Panamá y los mayores en Nicaragua. Para el año 2050 el aumento de la temperatura en diciembre será mayor que para 2020, elevándose de 1,50 °C hasta 2,90 °C, siendo Belice el país menos afectado y Costa Rica, especialmente Guanacaste –el área de turismo de ocio más importante de este país– el más impactado.

No obstante el aumento de temperatura de diciembre, los valores proyectados no alcanzarían la línea base de julio o la excederían en alrededor de 2 °C cuando mucho. Considerando que

<sup>4</sup> Solo se contó con información del escenario A1B para el tercer trimestre del año 2009. MIROC fue desarrollado por diversas instituciones de Japón, incluyendo el Centro de Investigación del Sistema Climático de la Universidad de Tokio (IPCC, 2007a).



diciembre es una estación más seca que julio, su clima sería relativamente confortable para los turistas, incluso en los lugares donde la temperatura aumentara más. Sin embargo, los sitios turísticos podrían verse afectados por otros problemas derivados de las altas temperaturas y los cambios en la precipitación, tales como sequías, escasez de agua y pérdida de biodiversidad.

El país que sufriría más por sequías sería El Salvador (Alvarado y otros, 2005). Entre los sitios turísticos, Guanacaste en Costa Rica podría ser uno de los más dañados. Esta región ya padece escasez de agua debido a que la precipitación ha disminuido alrededor de un 20% durante la última década en relación con el período 1961-1990 (IPCC, 2007d). La mayor parte de los efectos negativos golpearían la parte norte del istmo, mientras la parte sur no sufriría grandes variaciones (IPCC, 2007d; CEPAL y DFID, 2009). Aunque la precipitación podría decrecer menos en las costas que tierra adentro, las actividades turísticas podrían padecer escasez de agua si su abastecimiento viene de tierra adentro.

Los pronósticos para julio son más preocupantes. Para julio de 2020, los mayores aumentos de temperatura ocurrirían tierra adentro en los sitios arqueológicos: Tikal (Guatemala) y Copán (Honduras), 2,2 °C y 2,1 °C, respectivamente, mientras que los aumentos más moderados ocurrirían en varios sitios de Panamá. Los mayores aumentos ocurrirían hacia julio de 2050, alcanzando alrededor de 4 °C en seis sitios —tres de éstos en El Salvador, uno en Guatemala (Tikal), uno en Belice (Punta Gorda) y uno en Honduras (Cuzco). Otros veinte sitios sufrirían aumentos de 3 °C a 4 °C, lo que probablemente causaría incomodidad a los turistas. Algunos aumentos más tolerables ocurrirían en Panamá, Honduras y algunos lugares de Belice, pero aún ahí los aumentos serían de alrededor de 2,5 °C en julio de 2050. Con estos aumentos la biodiversidad se vería amenazada o se extinguiría. Además, las temperaturas más cálidas ocurrirían en la estación más húmeda, lo que podría ser intolerable para el turismo.

Considerando solo los aumentos de temperatura atmosférica por el cambio climático en Centroamérica, podemos concluir que la región podría seguir ofreciendo condiciones aceptables para el turismo en diciembre (y probablemente también en enero) en 2020 y 2050. No sería el caso para el turismo de verano en julio, el cual se volvería muy incómodo por las altas temperaturas. Otros impactos del cambio climático, distintos a los de temperatura, podrían deteriorar más las condiciones del turismo, como se analiza a continuación.

## 9.4 OTROS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL TURISMO

Además del aumento de la temperatura, el cambio climático tendrá muchos otros efectos, algunos de ellos indirectos. La información y/o las proyecciones del comportamiento de estas variables a nivel municipal no están disponibles, por lo que serán analizadas en un nivel general.

Primero, los impactos que el cambio climático puede tener en los mares y las costas serían muy grandes para el turismo, pues la línea costera de Centroamérica, donde ocurre u ocurriría gran parte de la actividad presente y futura, es muy extensa (7.200 km.). Una consecuencia importante del cambio climático es la elevación del nivel del mar. Aunque hay dificultades para medirla (Miller, 2009), sin duda ha ocurrido y al menos parte de ella puede ser atribuida al cambio climático, fenómeno que seguirá ocurriendo en el futuro.

Segundo, el aumento de la temperatura del mar está poniendo en riesgo la biodiversidad marina, la cual es una atracción turística importante. Tal es el caso del Arrecife Mesoamericano, el segundo más grande del mundo, que se extiende más de 700 kilómetros desde el norte de la

península de Yucatán, México, a través de Belice y Guatemala, hasta las Islas de Bahía en el norte de Honduras. Se espera que el cambio climático seguirá calentando la superficie del Mar Caribe, intensificando el blanqueamiento del coral, del cual han ocurrido al menos dos impactos importantes: uno en 1998<sup>5</sup> y otro en 2005 (Vergara, 2009). El arrecife viviente y los ecosistemas asociados son muy importantes, pues además de ser atracciones recreativas, contribuyen a la pesca comercial en México, Guatemala, Belice y Honduras ya que proveen refugio a muchas especies (WWF, 2010), y sirven como barrera natural contra las tormentas severas y la erosión costera.

Tercero, el calentamiento del mar está vinculado a la creciente intensidad de los eventos extremos y a la intensificación y mayor frecuencia de El Niño-Oscilación Sur (ENOS) en el océano Pacífico. De 1930 a 2008, la región centroamericana registró 248 eventos extremos asociados a fenómenos climáticos o hidrometeorológicos, pero el 47% de ellos ha ocurrido en los últimos nueve años.

En cuanto a los ciclones tropicales, sus mayores efectos ocurren en la costa caribeña, la totalidad del territorio de Belice, una gran extensión de Honduras y Nicaragua por el lado del Caribe y la costa noreste de Costa Rica. Aunque la investigación de la relación entre el cambio climático y el aumento del número e intensidad de los ciclones y sus patrones futuros aun está en proceso, es probable que estas áreas, que han sido muy afectadas por éstos en el pasado, continuarán siéndolo en el futuro (Goldenberg y otros, 2001). Es importante considerar que los huracanes del Mar Caribe tienen efectos sobre la costa de la región, además de que han empezado a formarse huracanes en el Pacífico mismo, que afectan la región. De esta forma, la mayor parte de Centroamérica es afectada por los huracanes. A ello hay que agregar la mayor frecuencia e intensidad de tormentas tropicales con los riesgos inherentes de inundaciones de zonas costeras y la consiguiente mayor erosión (Schleupner, 2007; véase el cap. 7).

El poder destructor de los huracanes y de los ciclones ha aumentado de manera progresiva desde mediados de los años setenta, al cobrar mayor intensidad y duración (CEPAL y DFID, 2009). Los desastres naturales pueden provocar cambios en el ambiente físico, el ambiente biótico y la fisonomía del paisaje. Los cambios que podrían tener efectos negativos en el turismo incluyen la pérdida de áreas forestales, que pueden causar pérdida temporal de los servicios ambientales y las atracciones ecoturísticas, la acumulación de escombros en las playas y su erosión, lo que puede resultar en una reducción del turismo de playa. Los daños a la infraestructura de las áreas protegidas también puede causar pérdida de los servicios recreativos (CEPAL, 2003).

Cuarto, un problema importante provocado por los huracanes y las tormentas es el de las inundaciones, que también afectan a los centros turísticos. De acuerdo con la investigación de este proyecto sobre eventos extremos, existen patrones de riesgo de inundación claramente definidos. Los territorios naturalmente inundables, como las riberas de los ríos, las zonas bajas y las zonas costeras muestran la mayor recurrencia e intensidad. Toda la costa y el norte de Belice han registrado el mayor número de inundaciones entre 1975 y 2008. Guatemala ha experimentado problemas similares en costas, riveras y zonas lacustres, especialmente en los departamentos Alta Verapaz, Izábal, Zacapa, El Petén y lugares de la costa del Pacífico.

---

<sup>5</sup> El evento del año 1998 no fue severo debido al efecto de enfriamiento del huracán Mitch. Sin embargo, en 2007 un huracán de categoría 5 se abatió sobre Banco Chinchorro, causando gran daño a los sistemas de manglares y en menor grado a los arrecifes coralinos (*The Nature Conservancy*, 2010).

Los mayores riesgos de inundación en El Salvador y Honduras se concentran en las costas, mientras que en Nicaragua se concentran en la Región Autónoma del Atlántico Norte y Chinandega. En Costa Rica afectan principalmente a Guanacaste y el norte de Alajuela, Heredia y Limón. Finalmente, Panamá tiene la menor incidencia de inundaciones extremas; los territorios en riesgo se localizan en las provincias de Darién y Bocas del Toro, las riberas del río Coclé (Provincia de Colón) y la provincia costera de Chiriquí.

En suma, la intensificación de tormentas, huracanes, erosión costera, inundaciones, pérdida de biodiversidad, pérdida de arena de playa, salinización del agua y sequías en algunos lugares, entre otras consecuencias del cambio climático, tendrán efectos adversos sobre el turismo si no se toman medidas de adaptación.

## 9.5 ESTRUCTURA INSTITUCIONAL Y REGULADORA

Estudios importantes del cambio climático proponen políticas de adaptación que resultan clave para la actividad turística. El Informe Stern (2007) señala que los gobiernos tendrán que jugar un papel esencial en el diseño de políticas de largo plazo para los bienes públicos vulnerables al cambio climático, incluyendo la protección de recursos naturales y las zonas costeras. En esta sección examinaremos brevemente la legislación y regulaciones relacionadas directa e indirectamente con el cambio climático a través de la protección del ambiente, así como algunos instrumentos económicos que también pueden promover la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos; en segundo lugar consideraremos la cooperación entre países porque sus esfuerzos pueden ser esenciales para las políticas exitosas en cada país y la región en conjunto; finalmente, desarrollaremos un análisis específico de la adaptación a los efectos del cambio climático en las áreas costeras turísticas.

La legislación relacionada con el cambio climático, sus causas y efectos es incipiente en la región. Gran parte de la preocupación de los gobiernos ha sido dirigida al ambiente, no a los impactos del cambio climático. No obstante, la conciencia de los efectos del fenómeno en la economía y el desarrollo social de Centroamérica es creciente y ya aparece como asunto importante en algunos Planes Nacionales de Desarrollo (PND), entre los cuales destaca el PND de Costa Rica (2006-2010) (MIDEPLAN, 2007). Pero la mayoría de los planes de turismo, aún los de turismo sostenible, no mencionan el fenómeno. La estructura reguladora es una herramienta poderosa para la adaptación y la mitigación del sector turismo porque podría establecer las reglas que le ayudarán a sobrevivir los impactos del cambio climático (localización, construcción, etc.).

Una de las debilidades de los países de la región —que obstaculiza el control de las actividades que pueden empeorar los efectos del cambio climático— es la falta de regulaciones adecuadas del uso de suelo (“ordenamiento territorial”), si bien ha habido esfuerzos para mejorarlo. Los grandes daños causados por el huracán Mitch en Honduras, por ejemplo, dejaron claro que las inundaciones, los deslizamientos y otros efectos que cobraron muchas vidas humanas se habrían podido evitar con una mejor planeación urbana, reglas de asentamientos humanos y administración de los recursos naturales. A la fecha, todos los países tienen su programa nacional o ley de uso de suelo, excepto Guatemala, que está en proceso de crearla. Los programas y leyes difieren mucho y hay temas de integración pendientes entre las leyes locales y las nacionales, pero las nuevas leyes indudablemente ayudarán. No obstante, los problemas del cambio climático probablemente requerirán de una nueva revisión de las regulaciones a fin de mejorar las capacidades de adaptación a las nuevas circunstancias.

El cambio climático representa un reto especial para las actividades turísticas. Si la infraestructura turística no respeta las reglas del uso del suelo (suponiendo que éstas sean adecuadas)

puede destruir defensas naturales contra tormentas y huracanes, erosionar playas y acelerar la pérdida de biodiversidad, entre otros daños. A pesar de la relevancia de la sustentabilidad, muchos intereses económicos del sector turístico pueden obstaculizarla.

Todos los países tienen una institución de alto nivel a cargo del turismo (incluso a nivel ministerial algunos de ellos) y programas de promoción de la actividad. Algunos incluyen la sostenibilidad, pero casi ninguno considera el cambio climático. Hay, sin embargo, políticas de cambio climático en todos los países, algunas de gran alcance (Costa Rica, por ejemplo) y otras relativamente modestas, pero no relacionadas con políticas y leyes de turismo. Hay muchas leyes que ayudan a los países a protegerse del cambio climático, como las ambientales, las forestales y las costeras, diseñadas para evitar la deforestación, preservar la biodiversidad, proteger las zonas costeras de la erosión y destrucción, crear y proteger parques nacionales y desarrollar instrumentos legales para castigar delitos ambientales, entre otros. No obstante, el cambio climático requiere leyes específicas que incluyan previsiones para el turismo.

Otro obstáculo es la restringida capacidad de los gobiernos para implementar leyes y normas que habiliten a los países para enfrentar el cambio climático. Un problema frecuente es, por ejemplo, que a pesar de que los países aquí estudiados han hecho esfuerzos importantes para crear parques nacionales, a menudo carecen de los recursos humanos y financieros para protegerlos de la tala ilegal y otras actividades depredadoras. Probablemente Costa Rica y Belice son los países más exitosos en la protección de sus parques nacionales, pero como los datos de deforestación muestran (1,3% anual regional entre 2000 y 2007, de acuerdo con FAO, 2009), el control de los bosques por las autoridades es muy débil en la mayor parte del istmo.

Preparar la actividad turística para el cambio climático y reducir su propia contribución al calentamiento global requiere una nueva estrategia de los tomadores de decisiones. Las regulaciones de construcción deben ser definidas de nueva manera, el uso de suelo debe ser determinado más rigurosamente, la reforestación debe ser desarrollada con nuevos criterios y lo mismo es cierto para el uso de fertilizantes, la protección de cuencas hidrológicas, etc. Es esencial que las zonas costeras del istmo que concentran actividades económicas importantes, incluido el turismo, sean administradas de manera integral para enfrentar de la mejor manera posible los efectos del cambio climático (PNUMA y MEDDTL, 2009).

Hay varios instrumentos económicos y de otro tipo que han ayudado a que la actividad turística sea más amigable con el ambiente y que podrían contribuir a combatir los efectos del cambio climático. Entre ellos hay una variedad de esquemas de incentivos como: (a) reconocimiento de las buenas prácticas ambientales: incluye la certificación de prácticas de protección ambiental, la cual tiene un costo, pero puede crear un umbral competitivo; (b) regulaciones técnicas que obliguen a los agentes turísticos a cumplir adecuadamente las obligaciones ambientales: estudios de impacto ambiental de proyectos turísticos, límites de propiedad pública y privada costera y marítima, guías de construcción ambiental (como en Costa Rica); (c) promoción de nuevos mercados ecológicos: orgánicos, bio-comercio, cosméticos naturales, etc.; (d) instrumentos internacionales que pueden volver rentables las medidas ambientales y de cambio climático, i. e., recompensas por servicios ambientales: Certificados de Reducción de Emisiones (CRE), límites fiscales, transferencias y otros beneficios particularmente vinculados a la protección de los bosques y la reforestación; y (e) Programa de Colaboración de Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de los Bosques (UN-REDD) (PNUMA, PNUD y FAO, 2010), el cual recompensará económicamente la protección de los bosques, ayudará a frenar la deforestación y las emisiones de efecto invernadero y mantendrá ambientes atractivos para el turismo en la región.

La acción para adaptar el turismo al cambio climático en Centroamérica necesita enfocarse en los sitios de playa porque la mayoría de las actividades turísticas ocurren en ellos, aunque también hay unos cuantos sitios importantes tierra adentro, los cuales requerirán sus propios planes de adaptación. Además de esto, todos los países bajo estudio tienen planes para expandir considerablemente su industria turística. Hay un enorme potencial para incrementar el turismo sol-mar-arena, así como el orientado a la naturaleza, entre otros. Sin embargo, existen muchas incompatibilidades entre esos planes y la perspectiva del aumento de la temperatura, la elevación del nivel del mar y la pérdida de biodiversidad. Además, se están asignando múltiples usos a los recursos costeros sin mucha planeación, de modo que el turismo puede estar creciendo en áreas que están o pueden estar bajo estrés debido a la competencia de la demanda por sus recursos.

Los principios de la Administración Integral de Zonas Costeras (AIZC) podrían ser muy útiles para la región centroamericana. La AIZC considera esencial el manejo y la planeación del uso del agua, elemento de integración fundamental de los sistemas de recursos costeros. El litoral, por su parte, es considerado el punto focal del manejo de costas, donde existe un involucramiento múltiple de sectores que necesitan coordinarse para asegurar el uso sostenible de los recursos costeros (PNUMA y MEDDTL, 2009).

En la actualidad hay muchas amenazas del turismo al ambiente costero, las cuales lo ponen en gran riesgo frente al cambio climático si no se toman las acciones reconstructivas y preventivas necesarias. Como lo muestran la *USAID*, la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) y el Centro de Recursos Costeros en su reciente libro *Adapting to Coastal Climate Change, A Guidebook for Development Planners* (2009), estas amenazas incluyen: demanda excesiva de agua, alteración de la línea costera, cambios de hábitat, localización incorrecta de infraestructura, reducción de accesos a las playas, cambios de temperatura de tierra y mar y acidificación del océano. Estas alteraciones provocan contaminación del agua, escurrimientos, inundaciones, daños por tormentas y erosión costera. Muchos de estos efectos adversos se acentúan por el cambio climático y, por tanto, crean un círculo vicioso entre la manera de desarrollar el turismo y este fenómeno. Para preservar las condiciones necesarias del turismo sostenible es crucial establecer un manejo integral de los recursos costeros e hídricos, proteger y restaurar humedales, planear mejor las actividades turísticas, establecer normas de construcción más estrictas y estabilizar el borde de playa mediante la restauración y protección de arrecifes. Estas medidas pueden ayudar a que los sitios turísticos dispongan de agua potable, tengan líneas costeras y playas limpias y adecuadas, infraestructura segura y un hábitat marino atractivo y sostenible.

Las medidas de adaptación requeridas por el turismo (y otras actividades) para ser sostenible en el istmo centroamericano —de extensión relativamente pequeña, muy rico en recursos naturales, con muchas atracciones turísticas y gran potencial de expansión— necesitan la cooperación activa entre los países. El cambio climático afectará a muchas áreas simultáneamente, por lo que muchos recursos deben ser protegidos por todos los países interesados (Jiménez y Alexander, 2007). Esta cooperación implica generación e intercambio de información y acciones concretas.

Centroamérica tiene una sólida experiencia en cooperación ambiental, en la que la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), que pertenece al Sistema de Integración Centroamericana (SICA), ha jugado un papel importante. De hecho, Centroamérica ya tiene entidades regionales que comparten información y adoptan medidas conjuntas *vis a vis* los efectos del cambio climático. El Centro de Coordinación para Prevenir Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), que también forma parte de SICA, es muy relevante en este sentido. El



Plan Ambiental para Centroamérica (PARCA) es también un instrumento muy valioso para lograr la cooperación frente al cambio climático (CEPAL y DFID, 2009). La cooperación entre los países de Centroamérica y el Caribe es esencial para monitorear la evolución y protección de los arrecifes coralinos, así como la temperatura y nivel del agua del mar. Ejemplos de esta cooperación son la Red del Caribe: Planeando la Adaptación al Cambio Climático Global (CPACC), encargada de medir la elevación del nivel del mar y la temperatura de la superficie, y la Red Centroamericana para el Cambio Climático (RONMAC). No obstante, es esencial lograr una mayor armonización de las leyes de uso de suelo y desarrollar esfuerzos conjuntos para restaurar los arrecifes coralinos, las cuencas hidrológicas y las áreas costeras, así como la aplicación efectiva de las normas acordadas. El Sistema de Integración Turística Centroamericana (SITCA), que es también parte de SICA, ha sido muy activo en la promoción de la región como multidesestino turístico. Sin embargo, los organismos regionales vinculados al turismo requieren de un mayor compromiso en las medidas de adaptación y mitigación del cambio climático.

## 9.6 CONSIDERACIONES FINALES

1. El turismo en Centroamérica ha crecido rápidamente y hay planes para seguirlo promoviendo. Desafortunadamente, el istmo, particularmente sus costas, es muy vulnerable al cambio climático. Los países centroamericanos cuyos visitantes son turistas de ocio en su mayoría, están en riesgo de perder el ingreso económico por esta actividad. Para tener una visión completa del efecto del cambio climático sobre el turismo en la región hay que tomar en cuenta la elevación de la temperatura, las sequías, los huracanes, las inundaciones y el aumento del nivel del mar. Aunque no es posible tener proyecciones de impactos específicos en los sitios turísticos para todos los eventos, se puede llegar a varias conclusiones importantes.
2. En este estudio se analizaron los escenarios del aumento de la temperatura como resultado del cambio climático para toda la región, considerando los meses de diciembre y julio (en los que ocurre la mayor afluencia de visitantes) en los años 2020 y 2050. A pesar de las diferencias geográficas y estacionales entre los países, se prevén temperaturas más altas y crecientes en todo el istmo. *Ceteris paribus*, los efectos del aumento de la temperatura en diciembre serán limitados o al menos tolerables para los turistas. En cambio, los escenarios para julio 2020 y sobre todo en 2050 indican que Centroamérica se tornará muy calurosa, al grado de provocar incomodidad para los turistas. Considerando que julio es también un mes muy húmedo, las condiciones climáticas podrían desalentar a los visitantes de algunas (o la mayoría) de las áreas costeras, así como de algunos sitios culturales. Más aún, podrían presentarse condiciones insalubres como la difusión de la malaria, lo que desalentaría todavía más a los turistas. Los países que sufrirían los mayores aumentos de temperatura en julio de 2050 serían Costa Rica y El Salvador. Otro efecto derivado de las altas temperaturas es la sequía, particularmente en la costa del Pacífico.
3. Considerando los eventos climáticos extremos como los huracanes, la localización geográfica de los sitios turísticos es muy importante. La mayor parte del turismo de ocio ocurre en la costa del Pacífico, excepto en Belice, Honduras (Tela e Islas de Bahía) y unos cuantos sitios de Panamá. No obstante, los huracanes y otros eventos climáticos extremos son cada vez más fuertes e impactan la costa del Pacífico, aun si se originan en la costa del Caribe, además de los que se originan en el océano Pacífico mismo.

4. La biodiversidad, que es una atracción turística importante, puede ser severamente dañada por el cambio climático y la explotación de los recursos naturales, como la deforestación. El calentamiento del mar continuará provocando la decoloración de los arrecifes coralinos y la extinción de diversas especies marinas (véanse el cap. 3 y el cap.6).
5. Serán necesarias medidas de adaptación que acondicionen sitios turísticos alternativos para el verano, probablemente en tierra adentro y en altitudes mayores. Las montañas boscosas con temperaturas más frescas y ricas en biodiversidad podrían ser alternativas, especialmente para el ecoturismo. La mayoría de los planes de expansión del turismo mencionan poco o nada el cambio climático, amenaza que se cernirá sobre el sector si no se toman medidas de adaptación. La orientación ambiental de algunos planes de desarrollo turístico, aunque importante, podría ser insuficiente para proteger la actividad de los efectos esperados del cambio climático.
6. Se requiere mayor conciencia de toda la sociedad sobre los efectos del cambio climático para que las políticas de adaptación y mitigación sean exitosas. Una medida de adaptación muy importante es cambiar la estructura legal y fortalecer las instituciones responsables de implementar las medidas para enfrentar el cambio climático. Muchas de estas reglas, las cuales pueden beneficiar la actividad turística, deben proteger efectivamente los recursos naturales, especialmente bosques y manglares, y asegurar la revisión de las regulaciones de uso de suelo, de modo que las actividades que erosionan la tierra, causan sedimentación de ríos y facilitan inundaciones y deslizamientos, sean frenadas. Otras políticas de adaptación incluyen la creación de fondos gubernamentales especiales para ayudar a reconstruir los centros turísticos destruidos por eventos climáticos extremos, así como la creación de seguros para los centros turísticos más expuestos. Los instrumentos económicos para promover la reforestación, la agricultura sostenible y la recuperación de manglares, entre otros, requieren un desarrollo mucho mayor.
7. En cooperación regional puede avanzarse mucho más de lo que se ha hecho hasta ahora. Considerando los grandes desafíos del cambio climático para la industria turística, es necesario tomar más acciones nacionales y regionales. Los países centroamericanos cooperan en sus estrategias de mercadeo turístico, pero también compiten para atraer las inversiones relacionadas, incluyendo el mercado de segunda residencia. En la carrera por atraer los muy necesarios flujos de capital, los países se ven tentados a circunvenir las leyes ambientales y a quedarse cortos al crear instrumentos legales para enfrentar el cambio climático. Esto podría ser más dañino que benéfico a largo plazo. Si los países esperan seguir beneficiándose del turismo como actividad económica importante, deben tomar acciones conjuntas hoy para adaptarse mejor a lo que puede sobrevenir en el futuro como resultado del cambio climático.

## Capítulo 9

## ANEXO: PROYECCIONES CLIMÁTICAS, 2020 y 2050

## CENTROAMÉRICA: CAMBIOS EN TEMPERATURAS EN SITIOS TURÍSTICOS

Línea base comparado con 2020 y 2050 (temperatura °C)

Código	Ubicación turística	País	División administrativa de primer orden	División administrativa de segundo orden	Promedio histórico de temperatura julio °C <sup>a</sup>	Anomalia (MIROC) julio 2020 °C	Anomalia (MIROC) julio 2050 °C	Promedio histórico de temperatura diciembre °C <sup>b</sup>	Anomalia (MIROC) diciembre 2020 °C	Anomalia (MIROC) diciembre 2050 °C
1	Corozal	Belice	Corozal	-	26,60	+1,50	+3,00	23,10	+1,10	+1,50
2	Cayo Ambergris	Belice	Distrito de Belice	San Pedro	28,00	+1,40	+2,60	24,80	+1,10	+1,70
3	Cayo Caulker	Belice	Distrito de Belice	Cayo Corker	ND	+1,40	+2,60	ND	+1,10	+1,60
4	Blue Hole y Monumento Nacional Halfmoon Caye <sup>c</sup>	Belice	Distrito de Cayo	-	24,60	+1,90	+3,50	21,00	+1,10	+1,50
5	Cayo <sup>c</sup>	Belice	Distrito de Cayo	-	24,60	+1,90	+3,50	21,00	+1,10	+1,50
6	Reserva Marina South Water Caye	Belice	Distrito de Stan Creek	Dangriga	26,30	+1,50	+2,70	23,20	+1,10	+1,60
7	Placencia	Belice	Distrito de Stan Creek	Placencia	27,30	+1,70	+3,10	23,80	+1,10	+1,60
8	Punta Gorda	Belice	Distrito de Toledo	Punta Gorda	26,40	+2,00	+4,00	23,10	+1,20	+1,70
9	Tikal <sup>d</sup>	Guatemala	Depto de Petén	Municipios de Flores y San José	26,90	+2,20	+4,25	22,50	+1,10	+1,55
10	Livingston	Guatemala	Depto de Izabal	Municipio de Livingston	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11	Puerto Barrios	Guatemala	Depto de Izabal	Municipio de Puerto Barrios	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12	Quirigua	Guatemala	Depto de Izabal	Municipio de Los Amates	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13	Retalhuleu	Guatemala	Depto de Retalhuleu	Municipio de Retalhuleu	ND	ND	ND	ND	ND	ND
14	Puerto San José	Guatemala	Depto de Escuintla	Municipio de San José	27,90	+1,70	+3,80	26,60	+1,20	+2,30
15	Isla de la Bahía	Honduras	Depto de Islas de la Bahía	Municipio de Roatan	ND	+1,40	+2,70	ND	+1,10	+1,80
16	La Ceiba	Honduras	Depto de Atlántida	Municipio de La Ceiba	22,90	+1,70	+3,60	19,60	+1,10	+1,80
17	Cusuco	Honduras	Depto de Cortés	Municipio de San Pedro Sula	27,60	+1,90	+4,30	24,40	+1,10	+1,70
18	Copan	Honduras	Depto de Copan	Municipio de Copan Ruinas	24,20	+2,10	+5,20	21,60	+1,20	+2,00
19	Puerto de Acajutla	El Salvador	Depto de Sonsonate	Municipio de Acajutla	26,40	+1,80	+4,00	25,40	+1,30	+2,30
20	La Zunganera <sup>e</sup>	El Salvador	Depto La Paz	Municipio de San Luis Talpa	26,30	+1,80	+4,10	24,70	+1,30	+2,20
21	Playa Costa del Sol <sup>e</sup>	El Salvador	Depto La Paz	Municipio de San Luis La Herradura	26,30	+1,80	+4,10	24,70	+1,30	+2,20
22	Puerto El Triunfo	El Salvador	Depto de Usulután	Municipio de Puerto El Triunfo	26,50	+1,80	+3,90	25,10	+1,30	+2,20

(Continúa)

(Continuación Anexo)

Código	Ubicación turística	País	División administrativa de primer orden	División administrativa de segundo orden	Promedio histórico de temperatura julio °C <sup>a</sup>	Anomalia (MIROC) julio 2020 °C	Anomalia (MIROC) julio 2050 °C	Promedio histórico de temperatura diciembre °C <sup>b</sup>	Anomalia (MIROC) diciembre 2020 °C	Anomalia (MIROC) diciembre 2050 °C
23	Puerto Corinto	Nicaragua	Depto de Chinandega	Municipio de Corinto	27,80	+1,90	+3,60	25,90	+1,40	+2,40
24	Poneloya	Nicaragua	Depto de León	Municipio de León	27,00	+1,90	+3,60	25,40	+1,40	+2,50
25	Puerto Sandino	Nicaragua	Depto de León	Municipio de Nagarote	27,30	+1,90	+3,50	26,00	+1,40	+2,60
26	León	Nicaragua	Depto de León	Municipio de León	27,00	+1,90	+3,60	25,40	+1,40	+2,50
27	Pochomil	Nicaragua	Depto de Managua	Municipio de San Rafael del Sur	27,30	+1,90	+3,30	26,10	+1,30	+2,60
28	San Juan del Sur	Nicaragua	Depto de Rivas	Municipio de San Juan del Sur	26,50	+1,90	+3,30	25,00	+1,30	+2,80
29	Golfo de Papagayo	Costa Rica	Prov. de Guanacaste	Cantón Liberia	26,40	+2,00	+3,40	25,00	+1,30	+2,90
30	Playa Flamingo	Costa Rica	Prov. de Guanacaste	Cantón Santa Cruz	25,90	+1,90	+3,30	25,00	+1,30	+2,80
31	Playa Tamarindo	Costa Rica	Prov. de Guanacaste	Cantón La Cruz	25,30	+2,00	+3,40	24,00	+1,30	+2,90
32	Ciudad Puntarenas	Costa Rica	Prov. de Puntarenas	Cantón Puntarenas	ND	+1,90	+3,30	ND	+1,30	+2,80
33	Puerto Quepos	Costa Rica	Prov. de Puntarenas	Cantón Aguirre	26,80	+1,70	+3,10	25,40	+1,30	+2,70
34	Bahía Drake	Costa Rica	Prov. de Puntarenas	Cantón Osa	26,20	+1,60	+3,00	25,00	+1,30	+2,60
35	Parque Nacional Corcovado	Costa Rica	Prov. de Puntarenas	Cantón Osa	26,20	+1,60	+3,00	25,00	+1,30	+2,60
36	Golfito	Costa Rica	Prov. de Puntarenas	Cantón Golfito	26,40	+1,50	+3,00	25,20	+1,30	+2,50
37	Bocas del Toro	Panamá	Prov. de Bocas del Toro	Distrito Bocas del Toro	25,80	+1,30	+2,50	25,20	+1,20	+2,40
38	Boquete	Panamá	Prov. de Chiriquí	Distrito de Boquete	20,70	+1,40	+2,70	19,70	+1,30	+2,50
39	Penonomé	Panamá	Prov. de Coclé	Distrito de Penonomé	26,50	+1,10	+2,40	25,40	+1,00	+2,20
40	Valle de Antón	Panamá	Prov. de Coclé	Distrito de Antón	27,20	+1,10	+2,40	26,40	+1,00	+2,20
41	Puerto de Colón	Panamá	Prov. de Colón	Distrito de Colón	26,60	+1,10	+2,20	25,40	+1,00	+2,20
42	Las Perlas	Panamá	Prov. de Panamá	Distrito de Balboa	27,00	+1,20	+2,40	26,30	+1,00	+2,20

a Período histórico de 1961 a 2003.

b Período histórico de 1961 a 2003.

c Se utilizó información del Distrito de Cayo (Administrativa División de Primer Orden).

d Para las municipalidades de Tikal se calculó una temperatura media.

e No se contó con información de estas municipalidades, por lo que se usó información del Departamento de la Paz.

Nota: El signo + en las filas de anomalía se usó para distinguir este cambio frente a las temperaturas absolutas de los promedios históricos.

Fuente: Elaboración propia con base en resultados del Modelo de Investigación Interdisciplinaria de Clima (MIROC).

## 10. VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

### 10.1 INTRODUCCIÓN

Los resultados iniciales del estudio “La economía del cambio climático para Centroamérica” indican que este fenómeno podría traer impactos negativos directos y crecientes en el tiempo para los países de la región. Se espera una reducción importante en los rendimientos de los principales cultivos de granos básicos, mientras la presión sobre los recursos hídricos, las pérdidas de biodiversidad y los costos asociados a eventos extremos crecerán. El impacto de estos efectos sobre el ingreso, el desempleo, la migración y la seguridad humana se agravaría si se mantiene la tendencia ascendente de las emisiones y la temperatura media del planeta, y aun es difícil de evaluar y cuantificar a mediano y largo plazo.

La complejidad de la valuación de los costos del cambio climático requiere combinar modelos científicos y económicos en forma consistente, generar escenarios económicos en un horizonte de tiempo muy amplio y reconocer un margen de incertidumbre importante en los resultados que se obtengan. La irreversibilidad de la pérdida de ecosistemas o la posible ocurrencia de eventos catastróficos son particularmente difíciles de evaluar. Además, es necesario considerar variables cuyo valor no puede ser cuantificado en términos de mercado, como la pérdida de biodiversidad, acervo clave para las generaciones presentes y futuras.

Una vertiente de la investigación sobre los impactos del cambio climático se ha orientado a la valorización económica de sus costos, pero el tema es objeto de intenso debate (Tol, 2003; Tol y G. W. Yohe, 2009c; Kuik, Brander y Tol, 2009; Weitzman, 2007a; Stern, 2007; W. Nordhaus, 2007a; 2007b). La evidencia muestra gran diversidad de resultados, debido principalmente al uso de distintas metodologías y proyecciones climáticas, por adoptar distintos supuestos sobre la trayectoria de crecimiento económico y por enfocar distintos sectores, regiones o países. No obstante, hay consenso sobre la tendencia ascendente de los costos esperados, ya sea que se definan como pérdidas de bienestar o como proporción del PIB. También hay consenso en que cuando el cambio tecnológico es incorporado explícitamente, los costos estimados resultan menores que cuando se le considera exógeno o no es considerado. Además, la evaluación económica depende en gran medida de los escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), que influyen en las condiciones climáticas esperadas.

Por otra parte, las economías de Centroamérica han experimentado cambios estructurales importantes y una significativa inestabilidad macroeconómica en las últimas dos décadas. Las características y condiciones de este patrón de crecimiento responden a factores de origen e índole diversos con especificidades nacionales. Además, existe un alto nivel de incertidumbre sobre variables clave como cambios tecnológicos, precios relativos de la energía y consumo de agua y biodiversidad.



Al mismo tiempo, para las políticas públicas y la sociedad en general resulta útil cuantificar los costos para identificar consecuencias y diseñar estrategias de desarrollo eficientes para enfrentar estos desafíos. Así, el presente capítulo tiene por objetivo presentar los estimados iniciales de la valorización económica de los impactos del cambio climático en Centroamérica.

## 10.2 ESTUDIOS A NIVEL INTERNACIONAL

La evidencia internacional sobre costos y beneficios del cambio climático es diversa y abarca una variedad de sectores o aspectos económicos. Los principales son agricultura, agua, bosques, biodiversidad, energía, salud, migración, elevación del nivel de mar y eventos extremos como huracanes. Las metodologías son diversas, desde modelos de valorización integrada, como el PAGE 2002, modelos de equilibrio general computable y los de enfoque sectorial, como el estudio “La economía del cambio climático en Centroamérica”. Cada modelo tiene diversas características, es utilizado para distintos propósitos y conduce a distintos resultados. Por ejemplo, los modelos de equilibrio general computable son comúnmente aplicados para identificar los cambios en el bienestar o la curva de costos ante diversos procesos de mitigación. Sin embargo, cada modelo arroja diferentes estimaciones de costos. Así por ejemplo, para implementar un escenario de estabilización de emisiones de CO<sub>2</sub> a un nivel objetivo de 550 partes por millón (ppm), los costos acumulados al 2100 en términos de PIB varían en un rango de 4,7% (Sassi, Crassous y Hourca, 2005) a casi cero por ciento (Rao, Keppo y Riahi, 2006).

Los cuadros 10.1 y 10.2 sintetizan algunos de estos estudios, donde los costos globales del cambio climático oscilan entre el 1% y el 2,5% del PIB para los Estados Unidos y entre el 0,7% y el 4,7% del PIB en las principales economías del mundo. Jorgenson y otros (2004) estiman costos para Estados Unidos de alrededor del 0,6% al 1,9% de su PIB, considerando aumentos de temperatura de 0,6 °C a 1,7 °C. Otros resultados estiman costos de hasta el 1,4% del PIB mundial anual, mientras que los costos de mitigación podrían estar en un rango del 1% al 3% del PIB en el presente siglo. Cline (1993, en Fankhauser, 1995) estima que una reducción del 50% de las emisiones entre 2025 y 2050 representa alrededor del 1% a 3% del PIB de Estados Unidos. Es importante señalar que la mayoría de estos estudios fueron realizados en la década de los noventa bajo el supuesto de que un incremento de hasta el doble de emisiones de GEI resultaría en un aumento de entre 2 °C y 3 °C de temperatura media global. Los nuevos escenarios de emisiones (IPCC, 2007c) han modificado este supuesto y asumen que, de mantenerse las tendencias actuales del nivel global de emisiones, la temperatura media del planeta podría incrementarse entre 3 °C y 4 °C, lo cual aumentaría de manera importante los costos asociados.

**CUADRO 10.1**  
**ESTADOS UNIDOS: IMPACTO ESTIMADO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
*(En miles de millones de dólares de 1990)*

Sector	Cline (1992) (2,5 C°)	Fankhauser (1995) (2,5 C°)	Nordhaus (1991) (3,0 C°)	Titus (1992) (4,0 C°)	Tol (1995) (2,5 C°)
Agricultura	17,5	3,4	1,1	1,2	10,0
Pérdida forestal	3,3	0,7	(a)	43,6	(a)
Pérdida de especies	4,0	1,4	(a)	(a)	5,0
Aumento del nivel del mar	7,0	9,0	12,2	5,7	8,5
Electricidad	11,2	7,9	1,1	5,6	(a)
Calefacción no eléctrica	-1,3	(a)	(a)	(a)	(a)
Aire acondicionado móvil	(a)	(a)	(a)	2,5	(a)
Bienestar humano	(a)	(a)	0,75 del PIB	(a)	12,0
Mortalidad y morbilidad humana	5,8	11,4		9,4	37,4
Migración	0,5	0,6		(a)	1,0
Huracanes	0,8	0,2		(a)	0,3
Actividades de recreación	1,7	(a)		(a)	(a)
Oferta de agua					
Disponibilidad	7,0	15,6		11,4	(a)
Contaminación	(a)	(a)		32,6	(a)
Infraestructura urbana	0,1	(a)		(a)	(a)
Contaminación del aire	3,5	7,3		27,2	(a)
<b>Total</b>					
Miles de millones	61,1	69,5	55,5	139,2	74,2
% del PIB	1,1	1,3	1,0	2,5	1,5

Nota: (a) Sectores no cuantificados o muy pequeños.

Fuente: W. D. Nordhaus y Boyer, 2003 con base en IPCC, 1996.

**CUADRO 10.2**  
**PAÍSES SELECCIONADOS Y MUNDO: COSTOS TOTALES DEBIDOS A UN INCREMENTO DOBLE**  
**DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub>**  
*(En miles de millones de dólares)*

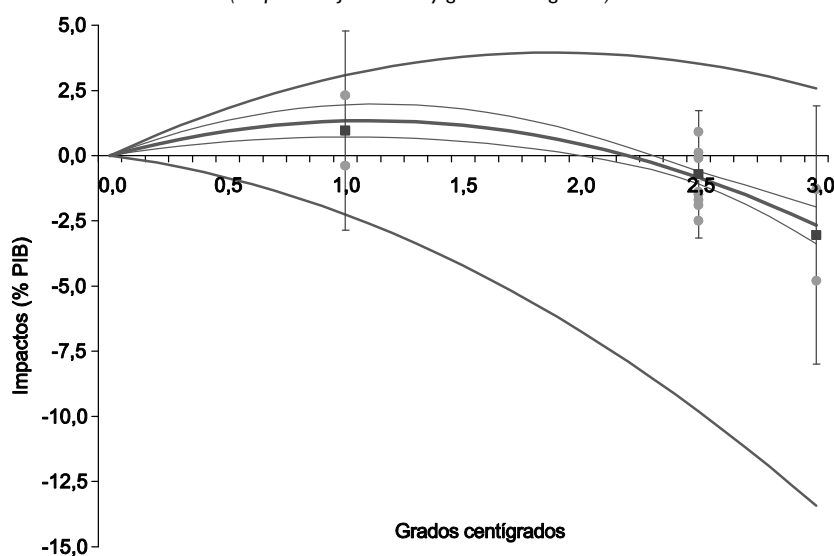
Sector	UE	EU	Ex URSS	China	OECD	Mundo
Defensa de costas	0,1	0,2	0,0	0,0	0,4	0,9
Uso de suelo	0,3	2,1	1,2	0,0	8,1	14,0
Pérdida de humedales	4,9	5,6	1,2	0,6	16,9	31,6
Pérdida de ecosistemas	9,8	7,4	2,3	2,2	25,5	40,5
Agricultura	9,7	7,4	6,2	7,8	23,1	39,1
Forestal	0,1	0,6	0,4	0,0	1,8	2,0
Energía	7,0	6,9	-0,7	0,7	20,5	23,1
Agua	14,0	13,7	3,0	1,6	34,8	46,7
Mortalidad	13,2	10,0	2,3	2,9	34,4	49,2
Contaminación del aire	3,5	6,4	2,1	0,2	11,9	15,4
Migración	1,0	0,5	0,2	0,6	2,0	4,3
Riesgos naturales	0,0	0,2	0,0	0,1	1,0	2,7
Miles de millones	63,6	61,0	18,2	16,7	180,4	269,5
% del PIB	1,4	1,3	0,7	4,7	1,3	1,4

Notas: Los años base del PIB pueden diferir en los estudios; las pesquerías están incluidas en pérdida de humedales; los riesgos naturales sólo incluyen huracanes.

Fuente: Fankhauser, 1995.

En un análisis de diversas mediciones de impactos del cambio climático en distintas regiones del mundo, Yohe y Schlesinger (2002) observan que América del Norte, Rusia y China podrían beneficiarse de cierto nivel de calentamiento global, mientras que la India, Brasil y Japón sufrirían daño. Sin embargo, sus estimaciones hacen interpolaciones y usan distintos escenarios de emisiones globales. Tol (2009) realiza un meta-análisis de investigaciones a nivel internacional sobre los costos del cambio climático, principalmente en Europa, Asia y la ex URSS, y estima la pérdida de bienestar o costos como puntos porcentuales del PIB mundial ante variaciones de la temperatura media del planeta. El gráfico 10.1 muestra estos estimados del impacto del cambio climático sobre la economía global (media de 14 estudios), medidos como puntos porcentuales del PIB mundial, en función de aumentos de temperatura media sobre la temperatura media actual. La línea más oscura al centro muestra los valores medios; las líneas tenues exteriores muestran los intervalos con el 95% de confianza bajo distintas especificaciones (Tol, 2009). Los resultados muestran que podría haber beneficios a nivel global si la temperatura media del planeta aumenta hasta 1,1 °C. Más allá de este límite el bienestar global disminuiría. Los impactos más graves podrían presentarse a partir de un aumento de 2,5 °C de temperatura, que repercutiría en disminuciones del 2,5% al 5% del PIB mundial. En algunos casos la pérdida de bienestar sería de hasta el 7,5%.

**GRÁFICO 10.1**  
**MUNDO: ESTIMACIÓN DE LOS IMPACTOS A NIVEL GLOBAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
(En porcentajes del PIB y grados centígrados)



Fuente: Tol, 2009.

## INFORME STERN SOBRE LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El Informe Stern presenta un análisis de los potenciales impactos globales del cambio climático en un horizonte temporal amplio, que incluye un análisis costo-beneficio de las políticas de mitigación muy relevante para la toma de decisiones (Stern, 2007; Weitzman, 2007a). Para obtener sus estimaciones aplica diferentes técnicas y modelos en su análisis de diversos sectores a nivel global, y hace una diferenciación entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo.

Una conclusión importante de este informe es que un aumento de 2,5 ppm de las concentraciones anuales de CO<sub>2e</sub> en las próximas cuatro décadas aumentaría la concentración en 112,5 ppm., lo que, sumado a los niveles actuales, implicaría concentraciones de 542,5 ppm para el

año 2050. Este nivel sería una duplicación de las emisiones preindustriales, y pudiera implicar un aumento de la temperatura global media entre 2 °C y 5 °C. Algunos modelos estiman que esta misma duplicación aumentaría la temperatura hasta 9 °C si se incluyen algunos procesos de retroalimentación. Por ejemplo, solamente los cambios en los patrones de lluvia asociados a aumentos de temperatura reducirán la capacidad de los depósitos de captura de carbono, lo que podría contribuir con un aumento de 1 °C a 2 °C para el 2100.

Si se mantiene el ritmo de crecimiento actual de las emisiones, las concentraciones se triplicarán hasta alcanzar los 650 ppm o más al final del siglo. Como resultado, diversos estudios estiman que la temperatura podría aumentar entre 1,5 °C y 11 °C relativo al nivel preindustrial, como se reporta en el cuadro 10.3. Ahora bien, estas proyecciones van acompañadas de un nivel de incertidumbre importante. Así, con este nivel de concentraciones, los aumentos de temperatura media más probables en el siglo XXI oscilan entre 1,5 °C y 6 °C.

**CUADRO 10.3**  
**MUNDO: CONCENTRACIONES DE GEI Y TEMPERATURA MEDIA AL FINAL DEL SIGLO XXI RESPECTO A LOS NIVELES PREVIOS A LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL**  
(En grados centígrados)

Nivel de estabilización (ppm CO <sub>2</sub> equivalente)	Incremento de temperatura al equilibrio relativo		
	IPCC (2001) Wigley y Raper (2005)	Hadley Centre Ensemble	Once estudios
400	0,8 – 2,4	1,3 – 2,8	0,6 – 4,9
450	1,0 – 3,1	1,7 – 3,7	0,8 – 4,9
500	1,3 – 3,8	2,0 – 4,5	1,0 – 7,9
550	1,5 – 4,4	2,4 – 5,3	1,2 – 9,1
650	1,8 – 5,5	2,9 – 6,6	1,5 – 11,4
750	2,2 – 6,4	3,4 – 7,7	1,7 – 13,3
1 000	2,8 – 8,3	4,4 – 9,9	2,2 – 17,1

Fuente: Stern, 2007 con base en Murphy y otros, 2004.

El aumento de la temperatura media del planeta tendrá efectos importantes en diversos sectores según su magnitud. En el cuadro 10.4 se presenta un esquema de los posibles impactos por sectores o ámbitos. Su representación es una matriz, cuyas columnas corresponden a las distintas áreas como agua, producción de alimentos, salud, suelos, ambiente y eventos extremos; las filas representan los grados de temperatura y su intersección con los sectores muestra los impactos esperados. Así por ejemplo, un aumento de 1 °C tendría efectos negativos o positivos relativamente menores según la región, el sector y el recurso. Pero a partir de 2 °C habría impactos importantes: disminución de la disponibilidad de agua de 20% a 30%; entre 40 y 60 millones de personas quedarían expuestas a la malaria y entre 15% y 40% de las especies árticas estarían en riesgo de extinción. Un aumento de 4 °C pondría en riesgo de extinción al 50% de las especies del planeta; la disponibilidad de agua disminuiría entre 30% y 50%; los rendimientos agrícolas disminuirían entre el 15% y el 35 % en África. Con aumentos superiores a los 4 °C habría sequías severas e inundaciones recurrentes, los rendimientos agrícolas y la disponibilidad de agua disminuirían, mientras el riesgo de enfermedades infecciosas sería mayor.

**CUADRO 10.4**  
**REGIONES DEL MUNDO: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

<b>Aumento temp. (en °C)</b>	<b>Sobre el agua</b>	<b>Sobre los alimentos</b>	<b>Sobre la salud</b>	<b>Sobre el terreno</b>	<b>Sobre el medio ambiente</b>	<b>Efectos bruscos y a gran escala</b>
1 °C	Desaparecen por completo los pequeños glaciares de los Andes, lo que amenaza el suministro de agua de 50 millones de personas	Incremento moderados de la productividad cerealista en regiones templadas	Al menos 300 000 personas fallecen cada año por culpa de enfermedades relacionadas con el clima (sobre todo, por diarrea, malaria y malnutrición). Reducción de la mortalidad invernal en latitudes más próximas a los polos (Europa septentrional, Estados Unidos).	El deshielo del permafrost daña edificios y carreteras en diversas zonas de Canadá y Rusia	Al menos un 10% de las especies terrestres se enfrentan a la extinción (según una estimación). « Blanqueamiento » del 80% de los arrecifes de coral, incluida la Gran Barrera de Coral.	Empieza a debilitarse la circulación termohalina atlántica.
2 °C	Descenso potencial del 20-30% de la disponibilidad del agua en algunas regiones vulnerables, como el sur de África y el Mediterráneo.	Descensos pronunciados de la productividad de los cultivos en las regiones tropicales (5-10% en África).	Entre 40 y 60 millones más de personas expuestas a la malaria en África	Hasta 10 millones de personas adicionales afectadas por inundaciones costeras cada año	Entre el 15 y el 40% de especies corren riesgo de extinción de las especies árticas, incluidos el oso polar y el caribú	Posibilidad de que el hielo continental de Groenlandia empiece a derretirse irreversiblemente, lo que acelerará la elevación del nivel del mar hasta alcanzar un aumento final (y global) de 7 metros por encima de su nivel actual.
3 °C	En el Sur de Europa, sequías intensas cada diez años. Entre 1 000 y 4 000 millones de personas adicionales padecen episodios de escasez de agua, mientras que entre 1 000 y 5 000 millones reciben más agua que antes, lo que puede aumentar el riesgo de que padecan inundaciones	Entre 150 y 550 millones de personas adicionales en situación de riesgo de hambruna (si el efecto fertilizante del dióxido de carbono es débil). También es probable que los rendimientos agrícolas en latitudes más elevadas alcancen niveles máximos.	Entre 1 y 3 millones más de personas mueren de mal nutrición (si el efecto fertilizante del dióxido del carbono es débil).	Entre 1 y 170 millones de personas adicionales afectadas por inundaciones costeras cada año.	Del 20 al 50% de especies corren riesgo de extinción (según una estimación), incluidas el 25-60% de las de mamíferos, el 30-40% de las de aves y el 15-70% de las de mariposas en Sudáfrica. Inicio de la desaparición definitiva de la selva amazónica (sólo en algunos modelos).	Riesgo en ascenso de variaciones bruscas de las circulaciones atmosféricas, como las que gobiernan los monzones.
4 °C	Descenso potencial del 30-50% en la disponibilidad de agua en el sur de África y el Mediterráneo.	Descenso del rendimiento agrícola en un 15-35% en África, y abandono de la producción en regiones enteras (como por ejemplo, en diversas zonas de Australia)	Hasta 80 millones más de personas expuestas a la malaria en África.	Entre 7 y 300 millones de personas adicionales afectadas por inundaciones costeras cada año	Pérdida de, aproximadamente, la mitad de la tundra ártica. Aproximadamente, la mitad de las reservas naturales del mundo no pueden cumplir sus objetivos.	Riesgo en ascenso de desaparición de la placa de hielo continental de la Antártida occidental.
5 °C	Posible desaparición de grandes glaciares del Himalaya, lo que afectará a una cuarta parte de la población china y a centenares de millones de habitantes en la India	Incremento continuo de la acidez del agua que alterará seriamente los ecosistemas marinos y, posiblemente, las reservas pesqueras		El ascenso del nivel del mar amenaza la existencia de pequeñas islas, de llanuras costeras (Florida) y de grandes ciudades de todo el mundo como Nueva York, Londres y Tokio		Riesgo en ascenso de desaparición de la circulación termohalina atlántica.
Más de 5 °C	Los análisis científicos más recientes sugieren que la temperatura media aumentará incluso más de 5 o 6 °C si las emisiones continúan creciendo y las retroacciones de signos positivos amplifican el efecto calentador de los gases invernadero (por ejemplo, a través de la liberación de mayores cantidades de dióxido de carbono del terreno o de metanol del permafrost). Este nivel de aumento de la temperatura global sería equivalente a la magnitud del calentamiento experimentado desde la última glaciación hasta la actualidad y es probable que produzca graves trastornos y movimientos poblacionales a gran escala. Estos efectos « supeditados a factores sociales » podrían ser catastróficos, pero son muy difíciles de aprender actualmente con los modelos de los que disponemos, ya que las temperaturas estarían demasiado alejadas de la experiencia humana conocida.					

Nota: Esta tabla muestra efectos ilustrativos a diferentes grados de calentamiento. Parte de la incertidumbre de las previsiones queda reflejada en los intervalos que se muestran, pero también hay incertidumbres adicionales acerca de la magnitud exacta de los efectos. Las temperaturas representan incrementos con respecto a los niveles medios de la era preindustrial. Cada temperatura representa el punto central de un intervalo de 1 °C, es decir, que la fila de « 1 °C » representa los efectos del intervalo de aumento de temperaturas entre 0,5 y 1,5 °C, y así sucesivamente. El número de personas afectadas según el aumento de temperatura resulta de las estimaciones de población y del PIB para la década 2080-2089 extraídas del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). En general, las cifras asumen la existencia de algún tipo de adaptación en el ámbito de las personas o las empresas individuales, pero no asume adaptaciones nacionales o de toda una economía como resultado de la intervención política.

Fuente: Stern, 2007.



Otro aporte del Informe Stern es su análisis que concluye que los países en desarrollo serán los más afectados, en especial las personas más pobres. Estima que el cambio climático podrá dejar entre 145 y 220 millones de personas con un ingreso inferior a dos dólares en 2100 y podrían morir entre 165 mil y 250 mil niños cada año en esas regiones, particularmente África y el sur de Asia. En algunas regiones tropicales, los efectos combinados de la pérdida de polinizadores nativos, el aumento de plagas, la disminución del abastecimiento de agua y una mayor incidencia de las olas de calor se traducirán en disminución de la producción de alimentos.

Este informe postula que los costos del cambio climático son no-lineales, crecientes en el tiempo y muy dependientes de las proyecciones climáticas. En este sentido, los impactos económicos del fenómeno dependerán crucialmente de los esfuerzos globales de mitigación, particularmente de los grandes países emisores. El informe original sugiere que el escenario de estabilización de emisiones más eficiente y más factible económicamente se ubica en 500 ppm de CO<sub>2</sub>e, lo cual implica, con probabilidad del 96%, que la temperatura excederá los 2 °C.

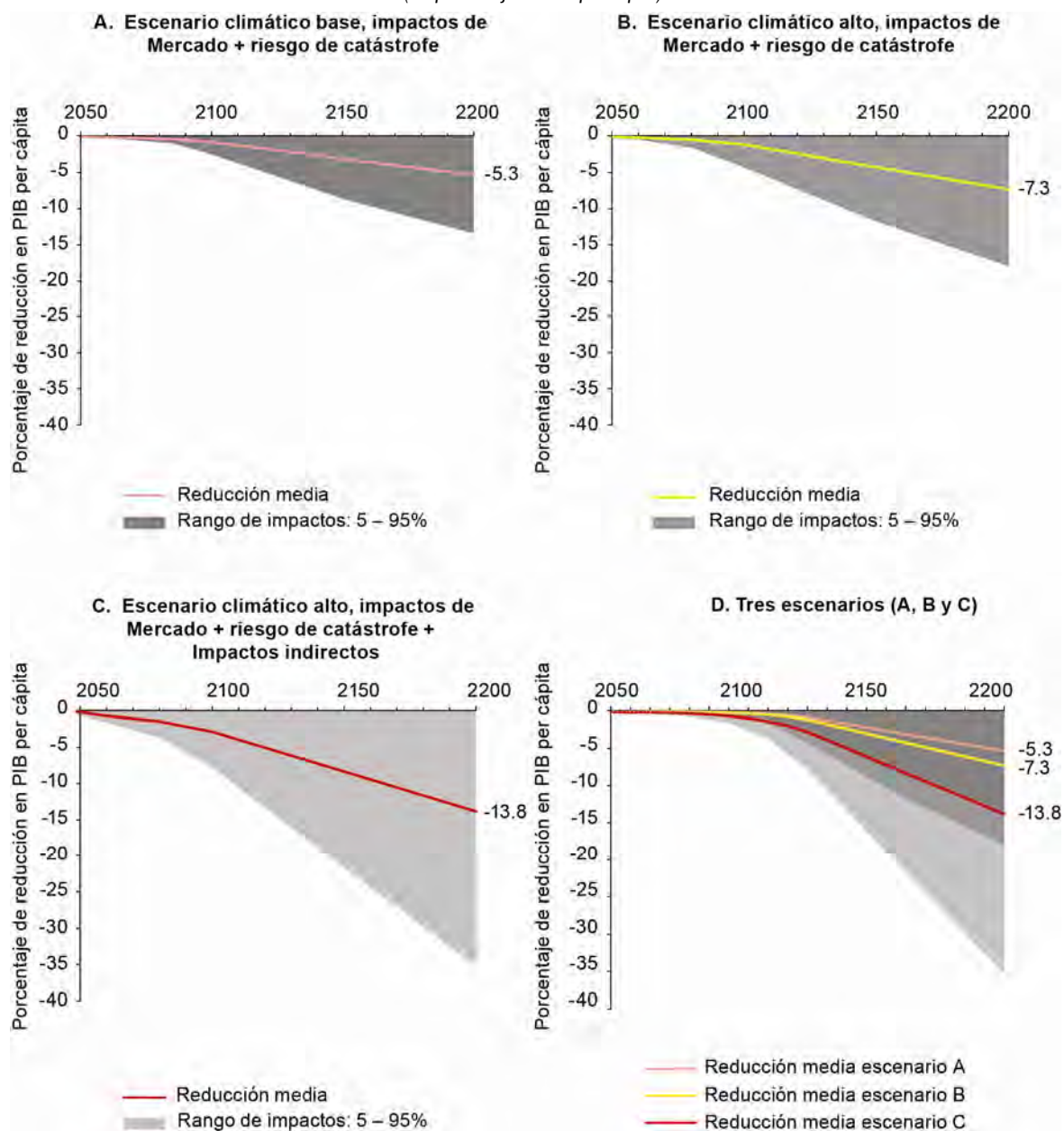
Más recientemente, Stern (2008a) ha propuesto que el mejor balance entre riesgos y costos proyectados sería limitar la concentración de las emisiones de GEI entre 450 y 500 ppm de CO<sub>2</sub>e. Para ello propone estabilizar emisiones en los próximos 15 años y haberlas reducido en 50% en 2050 en relación al nivel de 1990. Esto implicaría reducir las emisiones anuales de aproximadamente las 45 a 49 gigatoneladas (GT) actuales a 20 GT en 2050. En términos per cápita, ello supone una media global de 2 T per cápita en este año. Propone incluso que sería necesario bajar las emisiones totales hasta 10 GT o menos a más largo plazo. Estas metas contrastan con la tendencia actual de alza de emisiones, la cual podría implicar llegar a 80 GT para 2050. De no alcanzarse un acuerdo internacional y una reducción substantiva de las emisiones en el futuro inmediato, el escenario de 650 ppm sería el más probable. Este nivel de concentración es peligrosamente elevado porque podría desencadenar procesos y costos no-lineales y convexos que deben ser evitados a toda costa.

Frente a este reto, es útil contar con estimados de los costos de las consecuencias del cambio climático en un escenario de inacción frente a los costos de reducir emisiones. Stern (2007) estima que los costos de la inacción implican perder entre el 5% y el 20% del PIB mundial contra costos de mitigación de entre el -2% y el 5% del PIB y un promedio de 1%. Según este informe, los procesos de estabilización de las concentraciones de GEI son factibles con las tecnologías disponibles. Debe considerarse, sin embargo, que estas estimaciones dependen de decisiones y acciones de gobiernos y agentes económicos, donde un acuerdo internacional para reducir las emisiones de GEI sería clave.

Stern (2007) estima las pérdidas derivadas del cambio climático en PIB per cápita global hasta el año 2200, utilizando el modelo de valorización integral PAGE2002 con varios escenarios. Los resultados se muestran en el gráfico 10.2. El escenario base de cambio climático se hizo en función de los escenarios del tercer reporte del IPCC estimando un aumento promedio global de 3,9 °C a 2100 sobre el nivel preindustrial e incluyendo impactos de mercado y el riesgo de catástrofe. Este escenario genera pérdidas en el PIB global per cápita, alrededor del 0,2% en 2060, el 0,9% en 2100, y 5,3% al año 2200, un notable incremento en el segundo siglo (véase el gráfico 10.2 A). El segundo escenario contempla mayores cambios climáticos con retroalimentaciones adicionales que debilitan los sumideros de carbono e incrementan las emisiones naturales de metano. Este escenario genera un rango de aumento de temperatura de 2,6 a 6,5 °C a 2100. Las pérdidas al año 2200 alcanzarían el 7,3% del PIB global per cápita (véase el gráfico 10.2 B). Finalmente, incluyendo los impactos indirectos en salud y ambiente no reflejados en el mercado, las pérdidas en este indicador al año 2200 podrían

alcanzar el 13,8% como promedio con un rango del 95% de confianza entre 2,9 y 35,2% (véase el gráfico 10.2 C). El último gráfico 10.2 D, presenta los tres escenarios conjuntamente.

**GRÁFICO 10.2**  
**MUNDO: COSTOS PRONOSTICADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO AL AÑO 2200**  
(En porcentaje del PIB per cápita)



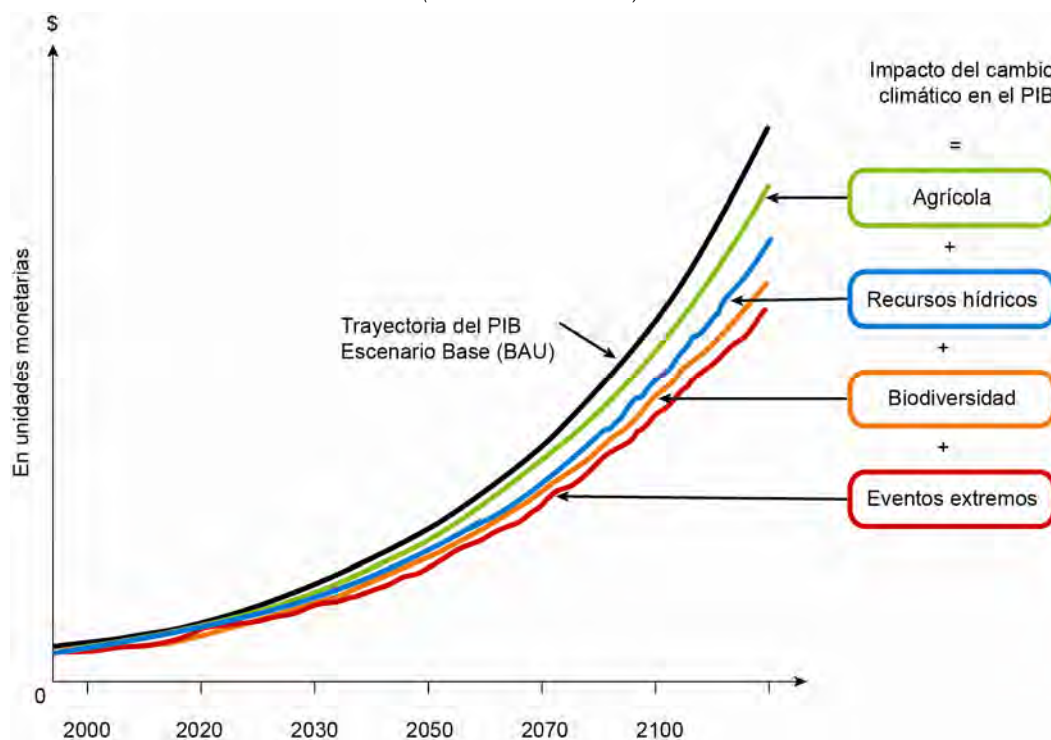
Fuente: Stern, 2007.

Estos análisis ilustran que aumentos de emisiones y temperaturas generan mayores impactos e incertidumbres, particularmente considerando los impactos sociales y ambientales no reflejados en el mercado y aún difíciles de estimar.

### 10.3 METODOLOGÍA

La metodología del presente estudio se basa en el análisis de sectores y ámbitos prioritarios. Partiendo de los escenarios tendenciales de crecimiento económico, demográfico y cambio de uso de tierra sin cambio climático, se generan líneas base del crecimiento de esos sectores y ámbitos. Una vez definida la trayectoria, se identifican los impactos probables de las variables temperatura y precipitación. En una segunda fase, la diferencia entre ambas trayectorias estiman los costos por sector. En el caso de los impactos en el sector agropecuario, la respuesta se obtiene en términos de producción y rendimientos frente a los cambios de temperatura y precipitación, la cual se traduce en una nueva trayectoria del PIB agropecuario. La suma de los costos derivados de los sectores y ámbitos se puede asociar a la trayectoria del PIB base, obteniendo una nueva trayectoria del PIB total asociado al cambio climático (véase el diagrama 10.1).

**DIAGRAMA 10.1**  
**MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
(En unidades monetarias)



Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, la diferencia entre la trayectoria del escenario base y la que incorpora los impactos del cambio climático permite obtener un valor monetario de los impactos sobre la actividad económica. Desde el punto de vista temporal, hay dos aspectos a considerar: el momento y la duración de cada impacto. El valor total del impacto se traduce en unidades monetarias. La forma de expresarlo es asumir que la diferencia es un flujo en el tiempo que puede ser medido en unidades monetarias de hoy a Valor Presente Neto (VPN) con una tasa de descuento, y que su proporción respecto al PIB es el costo del cambio climático.

Un aspecto controvertido de este método es el concepto de VPN con una tasa de descuento aplicada al valor total del impacto y expresado en unidades monetarias en términos porcentuales del PIB de un año de referencia. Este porcentaje representa el costo de no actuar ante el riesgo percibido y la tasa de descuento refleja el porcentaje en que una unidad de beneficios presentes es más valiosa que esa misma unidad en un período posterior. En cierto sentido pondera la importancia que asignamos al futuro.

#### RECUADRO 10.1 EL VALOR PRESENTE NETO Y LA TASA DE DESCUENTO

El Análisis de Costo Beneficio (ACB) fue desarrollado para evaluar inversiones y políticas públicas y privadas, considerando todas las ganancias y pérdidas potenciales de una propuesta específica en unidades monetarias. La evaluación se basa en calcular el valor de un activo, que equivale a tomar cada flujo de efectivo que el proyecto generará en el futuro, expresarlo en valor presente y restarle la inversión inicial. Esto permite valorar los flujos de efectivo en un mismo momento para facilitar la comprensión y la toma de decisiones.

En relación con los impactos del cambio climático, la evaluación se orienta a cuantificar el costo inducido por el fenómeno, es decir, calcula el costo de no actuar ante el riesgo percibido. Para aplicar la metodología ACB se requiere conocer al menos dos elementos: el flujo de fondos y la tasa de descuento. El primero muestra los costos que se van generando en el tiempo, y el segundo permite actualizarlos, es decir, estima cuánto valen hoy esos flujos futuros. De esta manera, si denominamos  $a_t$  un flujo de efectivo correspondiente al año  $t$  del proyecto, y si simbolizamos con  $r$  la tasa de descuento, su valor actual (o descontado) es  $a_t(1+r)^{-t}$ . Esto permite obtener el valor financiero equivalente en el momento inicial a la tasa de valoración  $r$  del flujo de efectivo correspondiente al año  $t$ . Por tanto, el VPN vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{a_t}{(1+r)^t}$$

El valor de la tasa de descuento refleja el porcentaje en que una unidad de beneficios presentes es más valiosa que esa misma unidad en un momento futuro. Una tasa de descuento más elevada supone un mayor descuento del futuro, lo que muestra una mayor indiferencia hacia las generaciones futuras y un mayor apego al consumo actual.

Fuente: Elaboración propia.

El uso de la tasa de descuento de un flujo de gastos es un procedimiento técnico aplicado a un flujo monetario de costos futuros para expresarlo en función de su valor, no en el momento en que los costos se producen, sino hoy, en el momento de la decisión. Esto significa asignar un peso concreto a los impactos que ocurran en un momento diferente al presente. Si el peso asignado a lo que ocurrirá en el futuro es mayor, se empleará una tasa de descuento negativa. Es decir, si se asume que la generación presente concede al bienestar de las generaciones futuras un peso superior al suyo. Si se concede exactamente el mismo peso, será coherente aplicar una tasa de descuento cero, que equivale a no descontar. No obstante, la práctica habitual consiste en emplear una tasa positiva de descuento.

En los estudios sobre cambio climático la tasa de descuento tiene una función diferente a su utilización normal. Cuando el cálculo se basa en la rentabilidad financiera, la tasa de descuento debe ser igual al tipo de interés real. Aplicar este criterio a la evaluación económica de los impactos del cambio climático implicaría que los impactos futuros perderían valor al ser trasladados al presente, es decir, al ser expresados en unidades monetarias corrientes. Como es obvio, este criterio no puede aplicarse a externalidades de largo plazo, como es el cambio climático. En tal caso será necesario emplear una tasa social de descuento que refleje las decisiones éticas de la sociedad sobre sus alternativas de consumo presente y futuro, así como su responsabilidad con las generaciones futuras.

Así, la elección de determinada tasa de descuento debe ser acompañada de la justificación económica y adecuada para el análisis. Diversos autores sostienen que una tasa de descuento apropiada para evaluar las condiciones de un desarrollo sustentable a mediano y largo plazos es distinta de la que se utiliza para evaluar proyectos comerciales de corto plazo. La elección de la tasa de descuento no es exclusivamente una decisión técnica, involucra una opción ética. Para evidenciar esta situación, el proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica” presenta los costos como VPN a tasas de descuento de 0,5%, 2%, 4%, y 8%, según la recomendación del Comité Técnico Regional y la red de proyectos de la economía del cambio climático de América Latina y el Caribe y a nivel global, donde participa el equipo del Reporte Stern.

Es importante subrayar que las estimaciones de costos presentadas en este apartado son indicativas y preliminares. La construcción de escenarios a un plazo de 90 años es obviamente una tarea compleja con un alto grado de incertidumbre que, en todo caso, sólo puede sugerir trayectorias posibles. No obstante, es posible identificar varias tendencias importantes.

## 10.4 ESTIMADO INICIAL DEL COSTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

### SECTOR AGROPECUARIO

Sobre la base de las funciones de producción del sector agrícola, se calcula el costo del impacto de un aumento de la temperatura y de cambios de la precipitación, asumiendo que existe un valor máximo de rendimiento/producción asociado a niveles óptimos de las variables climáticas, así que una modificación que se aleja de este nivel óptimo implica una disminución en rendimiento/producción. Con este enfoque se analizan los costos de los índices de producción agrícola con precios del año 2000, con referencia a los escenarios B2 y A2, con el promedio de los modelos ECHAM4/ECHAM5, GFDLR30/GDFLCM2.0 y HADCM3/HADGEM1 (véanse los cuadros 10.5 y 10.6). Si bien esta metodología se utiliza ampliamente en la producción de cultivos, existen reservas sobre su aplicación al caso pecuario, toda vez que no existe evidencia sólida de una asociación medible y directa entre las variables climáticas y la producción pecuaria. En el modelaje utilizado se pudo establecer una significancia estadística con temperatura, no así con precipitación. Por estas razones se ha procedido a utilizar los costos del sector agrícola en el estimado inicial de costos acumulados. No obstante, considerando la importancia del sector pecuario, se presentan más adelante los estimados de los costos en los índices agropecuarios.



**CUADRO 10.5**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO**  
**DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIO B2)**  
**EN EL SECTOR AGRÍCOLA A 2100**

*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Año	Tasa de descuento			
	0,50%	2,0%	4,0%	8,0%
2020	0,24	0,22	0,19	0,14
2030	1,60	1,31	1,01	0,61
2050	3,00	2,15	1,45	0,74
2070	5,17	3,13	1,79	0,79
2100	7,30	3,80	1,94	0,80

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 10.6**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO**  
**DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIO A2)**  
**EN EL SECTOR AGRÍCOLA A 2100**

*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Año	Tasa de descuento			
	0,50%	2,0%	4,0%	8,0%
2020	1,28	1,20	1,11	0,97
2030	2,48	2,11	1,75	1,22
2050	3,70	2,86	2,14	1,41
2070	5,18	3,53	2,39	1,45
2100	11,13	5,40	2,80	1,47

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la producción agrícola, los valores son agregados para toda la región, así que pueden resultar diferencias importantes por país y algunos tendrán mayores ventajas que otros. La diferencia entre el nivel actual de producción y el nivel probable con cambios en temperatura y precipitación a lo largo del presente siglo representan los flujos de costos expresados en valor presente a distintas tasas de descuento. El resultado se expresa como proporción del PIB total de Centroamérica en 2008. Los costos del sector agrícola a una tasa de descuento del 0,5% se mantienen relativamente bajos la primera mitad del siglo XXI, con valores menores al 4% promedio del PIB regional en ambos escenarios. No obstante, a partir de 2050 se incrementan de forma acelerada. En el escenario B2 pasarían a un equivalente del 7% del PIB de 2008 en 2100; en A2 podrían llegar al 11% del PIB de 2008, es decir, los costos en la segunda mitad del siglo serían mayores en A2. Considerando la relación con otros sectores, los efectos indirectos en la producción de alimentos, en el sector de manufacturas y en la importación de productos agropecuarios significarían un aumento de costos considerable para la región. Los cuadros 10.7 y 10.8 presentan los costos asociados para el agregado del sector agropecuario a nivel regional, incluyendo el sector pecuario, que representa poco menos de la mitad del valor estimado.

**CUADRO 10.7**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIO B2) EN EL SECTOR AGROPECUARIO A 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Año	Tasa de descuento			
	0,50%	2,0%	4,0%	8,0%
2020	0,30	0,26	0,21	0,12
2030	2,16	1,75	1,32	0,76
2050	4,73	3,32	2,15	1,01
2070	8,92	5,21	2,83	1,11
2100	13,70	6,73	3,18	1,13

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 10.8**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIO A2) EN EL SECTOR AGROPECUARIO A 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Año	Tasa de descuento			
	0,50%	2,0%	4,0%	8,0%
2020	1,84	1,72	1,59	1,38
2030	3,45	2,94	2,44	1,81
2050	5,36	4,12	3,07	2,00
2070	8,50	5,55	3,58	2,07
2100	18,53	8,70	4,29	2,11

Fuente: Elaboración propia.

## RECURSOS HÍDRICOS

Los costos del sector hídrico miden la cantidad de recursos que deberán invertirse para garantizar el abastecimiento de agua para consumo de los sectores municipal (consumo humano directo) y agropecuario, a consecuencia de un aumento de la temperatura y cambios en la precipitación, que repercuten en una menor disponibilidad renovable. La estimación de los costos considera la diferencia entre las demandas del recurso hídrico en un escenario base y dos escenarios de cambio climático, A2 y B2, además de los cambios en disponibilidad generados por estos dos escenarios. Es importante señalar que no se dispone de información detallada sobre tarifas a nivel país y por sector, así que la estimación de costos asume ciertos supuestos sobre la evolución de esta variable, que es indispensable para aproximar el valor monetario de los impactos. Los cuadros 10.9 y 10.10 presentan los resultados para los escenarios de emisiones globales B2 y A2 con el promedio de los modelos ECHAM4/ECHAM5, GFDLR30/GDFLCM2.0 y HADCM3/HADGEM1 para la región.

El costo acumulado estimado a 2100 para Centroamérica en B2 sería equivalente al 5,4% del PIB de 2008; en A2 sería equivalente al 9,8%, casi el doble, a una tasa de descuento del 0,5%. Los países con mayores costos estimados serían El Salvador y Belice, seguidos por Nicaragua, Honduras y Guatemala en B2, y El Salvador, Nicaragua, Guatemala y Belice en A2. A una tasa de descuento de

0,5%, los costos se mantienen relativamente bajos hasta el 2030 en ambos escenarios y suben sustancialmente a partir de 2070.

El riesgo menor es el de Panamá porque no se espera un impacto grande en la precipitación media anual, de modo que sus costos serán los más bajos. Es importante observar que los costos estimados dependen de los supuestos asumidos en el ejercicio. En el caso de Belice, la gran proporción de agua dedicada al consumo municipal y su tarifa, la más alta de la región, generan costos mayores. Mejoras futuras de estas estimaciones exigirán un análisis más detallado de disponibilidad y de los supuestos sobre las tarifas.

**CUADRO 10.9**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIO B2) EN LOS RECURSOS HÍDRICOS A 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Tasas de descuento	2020	2030	2050	2070	2100
<b>Belice</b>					
0,5 %	1,03	1,64	3,29	5,43	9,14
2 %	0,94	1,40	2,39	3,36	4,53
4 %	0,84	1,15	1,67	2,01	2,28
<b>Costa Rica</b>					
0,5 %	0,17	0,33	0,64	0,97	2,71
2 %	0,16	0,27	0,46	0,61	1,11
4 %	0,14	0,22	0,32	0,37	0,47
<b>El Salvador</b>					
0,5 %	0,28	0,64	1,90	3,99	9,17
2 %	0,25	0,52	1,29	2,23	3,83
4 %	0,22	0,40	0,80	1,14	1,49
<b>Guatemala</b>					
0,5 %	0,51	0,96	2,05	3,35	6,26
2 %	0,46	0,80	1,47	2,06	2,94
4 %	0,41	0,65	1,00	1,21	1,40
<b>Honduras</b>					
0,5 %	0,66	1,20	2,63	4,19	6,38
2 %	0,60	1,00	1,87	2,59	3,28
4 %	0,53	0,81	1,27	1,53	1,68
<b>Nicaragua</b>					
0,5 %	1,46	2,33	4,12	5,73	7,83
2 %	1,34	1,99	3,08	3,82	4,48
4 %	1,20	1,65	2,23	2,49	2,64
<b>Panamá</b>					
0,5 %	0,32	0,56	1,21	1,95	3,30
2 %	0,29	0,48	0,87	1,20	1,63
4 %	0,26	0,39	0,60	0,71	0,81
<b>Centroamérica</b>					
0,5 %	0,37	0,73	1,67	2,82	5,43
2 %	0,34	0,61	1,19	1,72	2,53
4 %	0,30	0,50	0,81	1,00	1,18

Nota: El costo comprende el costo de nuevas fuentes, costo por déficit o uso (demanda) y costo por merma ecológica, todos con cambio climático, menos costo por déficit o uso (demanda) y costo por merma ecológica, estos últimos sin cambio climático.

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 10.10**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIO A2) EN LOS RECURSOS HÍDRICOS A 2100**

*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Tasa de descuento	2020	2030	2050	2070	2100
<b>Belice</b>					
0,5 %	1,09	1,90	4,22	6,89	12,12
2 %	0,96	1,58	2,99	4,19	5,82
4 %	0,83	1,26	2,00	2,43	2,79
<b>Costa Rica</b>					
0,5 %	0,15	0,27	0,60	1,00	6,31
2 %	0,13	0,22	0,42	0,60	2,15
4 %	0,11	0,18	0,28	0,34	0,66
<b>El Salvador</b>					
0,5 %	0,35	0,74	2,76	5,89	16,22
2 %	0,31	0,60	1,79	3,19	6,37
4 %	0,26	0,46	1,06	1,56	2,25
<b>Guatemala</b>					
0,5 %	0,59	1,06	2,46	4,11	12,95
2 %	0,52	0,88	1,72	2,47	5,12
4 %	0,45	0,69	1,14	1,40	1,96
<b>Honduras</b>					
0,5 %	0,78	1,39	3,09	5,05	9,14
2 %	0,69	1,15	2,18	3,07	4,33
4 %	0,59	0,91	1,45	1,77	2,05
<b>Nicaragua</b>					
0,5 %	1,17	2,14	4,37	6,59	14,28
2 %	1,03	1,77	3,12	4,13	6,46
4 %	0,88	1,40	2,10	2,47	2,97
<b>Panamá</b>					
0,5 %	0,23	0,46	1,10	2,02	3,90
2 %	0,21	0,38	0,76	1,18	1,77
4 %	0,18	0,30	0,50	0,65	0,78
<b>Centroamérica</b>					
0,5 %	0,43	0,81	1,99	3,52	9,80
2 %	0,38	0,67	1,39	2,09	4,02
4 %	0,33	0,54	0,92	1,17	1,59

Nota: El costo comprende el costo de nuevas fuentes, costo por déficit o uso (demanda) y costo por merma ecológica, todos con cambio climático, menos costo por déficit o uso (demanda) y costo por merma ecológica, estos últimos sin cambio climático.

Fuente: Elaboración propia.

## BIODIVERSIDAD

Sobre la base del índice de biodiversidad potencial y la valorización directa e indirecta realizada, se estimaron los costos en función del cambio que el índice presentaría en los escenarios B2 y A2 en relación al escenario base, utilizando los modelos HADCM3 y HADGEM1, respectivamente. Se estimaron los costos acumulados al 2100 a valor presente neto del PIB de 2008 y diferentes tasas de descuento. El índice de biodiversidad potencial se estimó a nivel departamental/provincial con sus variables de superficie total, superficie con ecosistemas diferentes de los urbanos y agropecuarios, latitud, curvas de nivel, temperatura, precipitación y disponibilidad de agua. El escenario base se modeló con el cambio de uso de suelo estimado para el proyecto.

Los resultados se presentan en el cuadro 10.11. La estimación del costo regional promedio acumulado a 2100 sería equivalente al 12% y al 18% del PIB de 2008 en los escenarios B2 y A2, respectivamente, con tasa de descuento del 0,5%. En B2, el país con mayores costos es Nicaragua (41%); el país con menores costos es El Salvador (5%). En A2 las cifras varían entre el 58% de Nicaragua y el 9% de El Salvador. Así, los costos serían mayores en un escenario A2. Cabe señalar que estas diferencias apuntan en la misma dirección para todos los países pero con distinta magnitud debido a los cambios diferenciados de condiciones climáticas que inciden en el índice de biodiversidad potencial. Los estimados de los costos indirectos en la agricultura, comparados con los directos, son significativamente mayores en todos los casos, manteniendo todas las condiciones constantes (incluyendo la deforestación y cambio de uso de suelo). Por ejemplo, para Belice en B2 y tasa de descuento del 0,5% los costos directos serían equivalentes al 3% del PIB de 2008 y los indirectos al 12%, mientras que en A2 los costos indirectos son equivalentes al 8% y los indirectos al 16%.

**CUADRO 10.11**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIOS B2 Y A2) EN LA BIODIVERSIDAD EN 2100, CON COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

País	Tasa de descuento							
	0,5%		2%		4%		8%	
	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2
<b>Costos directos</b>								
Belice	3,14	7,66	1,38	3,41	0,57	1,41	0,17	0,41
Costa Rica	3,14	3,39	0,70	1,43	0,30	0,55	0,10	0,14
El Salvador	0,68	2,10	0,30	0,93	0,12	0,39	0,04	0,12
Guatemala	0,50	2,19	0,22	0,97	0,10	0,41	0,03	0,13
Honduras	0,49	1,43	0,21	0,64	0,09	0,27	0,03	0,08
Nicaragua	4,23	10,73	1,89	4,90	0,82	2,12	0,28	0,68
Panamá	0,57	1,17	0,24	0,47	0,09	0,17	0,03	0,04
Centroamérica	0,95	2,59	0,41	1,14	0,17	0,47	0,06	0,14
<b>Costos indirectos</b>								
Belice	11,94	16,05	4,34	5,74	1,33	1,72	0,23	0,28
Costa Rica	11,94	6,24	1,70	2,21	0,53	0,64	0,09	0,10
El Salvador	4,14	6,77	1,63	2,58	0,58	0,87	0,14	0,19
Guatemala	18,75	28,29	7,24	10,56	2,44	3,40	0,51	0,66
Honduras	10,93	17,82	4,09	6,55	1,32	2,06	0,26	0,38
Nicaragua	36,63	47,29	13,40	17,17	4,17	5,27	0,76	0,92
Panamá	8,38	10,04	3,02	3,54	0,92	1,04	0,16	0,17
Centroamérica	10,76	15,38	4,05	5,64	1,32	1,77	0,26	0,33
<b>Costos totales</b>								
Belice	15,08	23,71	5,72	9,15	1,90	3,13	0,40	0,70
Costa Rica	15,08	9,64	2,40	3,64	0,84	1,19	0,20	0,24
El Salvador	4,82	8,87	1,92	3,51	0,70	1,25	0,18	0,31
Guatemala	19,25	30,48	7,46	11,53	2,54	3,80	0,54	0,78
Honduras	11,41	19,25	4,30	7,19	1,41	2,33	0,29	0,46
Nicaragua	40,86	58,02	15,29	22,07	4,99	7,38	1,04	1,60
Panamá	8,96	11,21	3,26	4,01	1,01	1,21	0,19	0,21
Centroamérica	11,71	17,97	4,46	6,78	1,49	2,23	0,32	0,46

Fuente: Elaboración propia.



En el cuadro 10.12, con los cortes temporales para la región, se observa que los costos acumulados a cada corte son crecientes y que se acelerarían de manera significativa a partir del 2070, cuando el cambio climático sería más intenso. De esta forma, el costo del cambio climático en la biodiversidad de la región al 2050 sería equivalente al 1,6% y al 2,3% del PIB de 2008 en B2 y A2, respectivamente, con tasa de descuento del 0,5%. Para el 2100 aumentarían al 11,7 y al 18,0%.

**CUADRO 10.12**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIOS B2 Y A2) EN LA BIODIVERSIDAD CON AÑOS CORTE HASTA 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Año	Tasa de descuento							
	0,5%		2%		4%		8%	
	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2
2020	0,10	0,16	0,08	0,14	0,07	0,11	0,05	0,08
2030	0,38	0,55	0,30	0,43	0,22	0,32	0,12	0,19
2050	1,63	2,33	1,05	1,50	0,61	0,87	0,24	0,34
2070	4,02	5,98	2,12	3,13	0,98	1,45	0,29	0,42
2100	11,71	17,97	4,46	6,78	1,49	2,23	0,32	0,46

Fuente: Elaboración propia.

## EVENTOS EXTREMOS

Los datos disponibles sobre las consecuencias económicas de los desastres se limitan a los impactos físicos directos o pérdidas de capital fijo y de inventario (Baritto, 2009). Los efectos indirectos y secundarios sobre la actividad económica como cambios de política fiscal, consecuencias de la reasignación de recursos a largo plazo y pérdidas de capital humano son omitidos o subestimados.

Aunque resulta complejo aislar los impactos específicos de los desastres sobre el crecimiento económico a largo plazo, existe cierta evidencia al respecto (Noy, 2009; Dore y Etkin, 2000; Hochrainer, 2009; Raddatz, 2009; Loayza, 2009). También la hay de impactos sobre la demanda agregada, la función de producción o el gasto público (Albala-Bertrand, 1993; Toya y Skidmore, 2007; Rasmussen, 2004; Hochrainer, 2009). Sin embargo, los efectos observables pueden ser distintos a corto y largo plazo, y dependen del momento del ciclo económico, de la política económica instrumentada después del desastre y del tipo y magnitud del desastre; además, el impacto neto final del desastre depende del nivel de desarrollo de las instituciones, del ingreso per cápita, del nivel de educación de la población, del grado de apertura de la economía y de los tipos de daño al capital (Noy, 2009; Okuyama y Sahin, 2009; Loayza, 2009; Toya y Skidmore, 2007; Markandya y Pedroso-Galinato, 2009). Los impactos son más intensos en países con poblaciones más vulnerables o donde hay concentración de alguna actividad particularmente afectada por el desastre (Andersen, 2003). La evidencia muestra que los impactos pueden ser más largos (de 3 a 5 años) en países pequeños, donde los desastres afectan a una actividad económica principal (Jaramillo y Christian, 2009) y los sectores más pobres entran en trampas de pobreza (López, 2009).

Los patrones regulares observados en la información disponible indican una tendencia ascendente de los costos asociados a los eventos extremos a nivel mundial. Para los dos continentes de las Américas en el período 1991-2005, los desastres de origen hidrometeorológico han costado cerca de 400.000 millones de dólares (EMDAT). En este sentido resulta válido asumir la hipótesis de

que los costos están positivamente asociados a la intensidad de eventos extremos. Por lo tanto, este estudio asume que una mayor intensidad, derivada de un aumento de la temperatura superficial de los océanos se traduce en aumento de los costos. La mayoría de los estudios del sector delinean escenarios con aumentos del 4% al 12% en la intensidad de huracanes. El presente análisis considera un aumento del 5% como límite inferior y del 10% como límite superior.

Con este parámetro se hizo una aproximación del impacto en pérdidas económicas sobre el producto y de su significancia estadística con modelos econométricos, introduciendo una variable para los costos asociados a los eventos extremos climatológicos en una función de producción. Esta especificación se basa en el trabajo de Baritto (2009) con una variante que utiliza la proporción de la pérdida económica respecto al capital, toda vez que su objetivo es identificar el impacto en la formación de capital de las economías.

La estimación fue hecha con un modelo de datos panel, que considera los registros de costos por inundaciones y tormentas tropicales para los siete países de la región, disponibles en EMDAT, incluyendo las 11 evaluaciones coordinadas por la CEPAL, período 1970-2008. El nivel de producto se aproxima por el PIB, el acervo de capital y el empleo en cada país, con los datos generados por los escenarios macroeconómicos del estudio. Debido a limitaciones de algunas series de empleo de los países, la estimación se hizo solo con capital (ambas estimaciones resultaron muy cercanas, confirmando su robustez, por lo que se procede a utilizar la de capital). Para este ejercicio se supone un aumento proporcional de costos frente a un aumento de una unidad de intensidad. Los estimados de los costos podrían ser significativamente más altos si se llega a determinar una relación entre mayor frecuencia y cambio climático y si se logra incluir estimados de los costos indirectos, que generalmente equivalen al 70% de los costos directos, de acuerdo con información de la CEPAL.

Así es posible hacer un escenario inicial hacia el 2100 sobre los costos de los impactos directos de una mayor intensidad de las tormentas, inundaciones y huracanes en la actividad económica. La estimación del costo acumulado regional sobre un incremento del 5% de la intensidad de estos eventos extremos respecto a la trayectoria de las últimas cuatro décadas sería equivalente al 7,64% del PIB de 2008 con tasa de descuento del 0,5% y al 0,25% del PIB de 2008 con tasa de descuento del 8%. En este caso el incremento fue asignado al escenario B2. Los mayores costos podrían recaer en Belice y Honduras (24% y 21% a tasa de descuento del 0,5%), lo cual tendría consecuencias para sus trayectorias de crecimiento de largo plazo. En un segundo grupo se ubican Costa Rica, Guatemala, Panamá, Nicaragua y El Salvador (véase el cuadro 10.13).

**CUADRO 10.13**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO ANTE UN AUMENTO DE 5% EN LA**  
**INTENSIDAD DE LAS TORMENTAS Y LOS HURACANES A 2100**  
(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)

Tasa de descuento	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
0,5%	24,12	10,06	3,45	4,66	20,57	2,98	4,96	7,64
2,0%	9,16	4,13	1,39	1,94	7,98	1,43	2,01	3,09
4,0%	2,94	1,43	0,50	0,73	2,71	0,66	0,73	1,09
8,0%	0,58	0,27	0,12	0,19	0,61	0,24	0,19	0,25

Fuente: Elaboración propia.

Con un incremento del 10% en la intensidad de los eventos extremos respecto a la trayectoria observada en las últimas cuatro décadas, los costos acumulados a 2100 se duplicarían sobre el escenario anterior, y tendrían un impacto más significativo sobre las trayectorias de crecimiento de largo plazo. El incremento fue asignado al escenario A2. Para Belice y Honduras implican el equivalente al 47% y al 40% de su PIB de 2008 VPN con tasa de descuento del 0,5%. Estos costos acumulados también se duplicarían para la región centroamericana en conjunto, con valores equivalentes al 15% del PIB de 2008 con tasa de descuento del 0,5% y al 0,5% del PIB de 2008 con tasa de descuento del 8%. Esta medición se refiere al aumento de costos debido al cambio climático, no a los costos totales generados por tales eventos extremos (véase el cuadro 10.14).

**CUADRO 10.14**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO ANTE UN AUMENTO DE 10%**  
**EN LA INTENSIDAD DE LAS TORMENTAS Y LOS HURACANES A 2100**

(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)

Tasa de descuento	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
0,5%	47,11	19,65	6,73	9,10	40,18	5,81	9,69	14,92
2,0%	17,90	8,06	2,72	3,78	15,59	2,80	9,92	6,03
4,0%	5,75	2,79	0,98	1,42	5,28	1,29	1,44	2,13
8,0%	1,13	0,53	0,23	0,38	1,19	0,47	0,37	0,49

Fuente: Elaboración propia.

Es importante señalar que las estimaciones son sensibles a los datos de la última década por el aumento de la frecuencia e intensidad de los eventos extremos. A falta de información detallada, los costos comprenden eventos relacionados con inundaciones, tormentas y huracanes, por lo que es difícil cuantificar impactos por separado. En algunos países son más frecuentes unos eventos que otros.

## VALORIZACIÓN ECONÓMICA INICIAL DEL COSTO EN CUATRO ÁMBITOS

La valuación económica del cambio climático en Centroamérica se basa en un análisis de sectores y de ámbitos relevantes, que hasta este momento incluyen al sector agrícola, recursos hídricos, biodiversidad e intensidad de huracanes, tormentas e inundaciones. En esta sumatoria de los costos iniciales no se incluyen los asociados al sector pecuario y al consumo de agua del sector industrial por las limitaciones de la medición de la relación entre cambio climático y la producción en estos sectores. Es importante reiterar que hay severas limitaciones a la valorización económica de la biodiversidad y aún no se determina la relación entre frecuencia de huracanes y el cambio climático. Para estos eventos extremos se asume que un aumento del 5% en intensidad sería adecuado para B2 por suponer menores emisiones e impactos. Un aumento del 10% en la intensidad sería adecuado para A2. Los sectores aún no incluidos en esta valorización abarcan los servicios de salud, generación hidroeléctrica y consumo de energía, infraestructura, turismo, zonas marino-costeras y los múltiples impactos indirectos en sectores como la industria y los servicios. Se requiere avanzar con una mayor evaluación del impacto en ecosistemas clave como los bosques, y en otros eventos extremos como las sequías. Entonces, los cálculos presentados representan una visión conservadora e inicial de los costos del impacto económico. Con los resultados de los otros estudios programados en el proyecto se ampliará este estimado inicial.

A partir del escenario macroeconómico base sin cambio climático se identifican los impactos en estos sectores y ámbitos por variables de temperatura y precipitación. La diferencia entre ambas trayectorias valuadas en unidades monetarias representan los costos asociados al impacto del cambio climático. La valuación de los costos en unidades monetarias permite estimar los cambios o reducciones de las trayectorias del PIB en el escenario base. En los estudios económicos del cambio climático se ha acordado utilizar el VPN del flujo acumulado del costo en un período, o sea su valor o porcentaje en función del PIB actual (véanse los cuadros 10.15 y 10.16).

Los costos iniciales estimados con A2 son crecientes a partir del año 2050 en la mayoría de los ámbitos y, en general, bastante elevados al finalizar el siglo. El estimado inicial del costo medido acumulado a 2100 a una tasa de descuento del 0,5%, es equivalente a 73.000 millones de dólares corrientes o 52.000 millones de dólares a precios de 2002, aproximadamente el 54% del PIB de la región en 2008 a VPN. (Con una tasa de descuento del 4%, el valor equivalente es del 9% del PIB regional de 2008 a VPN, evidenciando la importancia de cuál tasa se utiliza.) El costo acumulado estimado en el escenario B2 al 2100 equivaldría a 44.000 millones de dólares corrientes y a 31.000 millones a precios del 2002, aproximadamente el 32% del PIB de 2008 a tasa de descuento del 0,5%. (Con una tasa de descuento del 4% el valor equivalente sería del 6% del PIB regional de 2008 a VPN.) Las estimaciones indican que los costos tienden a acelerarse después del año 2050, cuando la acumulación de las emisiones genere mayores aumentos de temperatura. En este sentido, un esfuerzo internacional que estabilice y reduzca las emisiones globales contribuiría a reducir el impacto.

**CUADRO 10.15**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIO B2) EN CUATRO ÁMBITOS A 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Tasa de descuento		Impacto				
		Agrícola	Biodiversidad	Agua	Eventos extremos	Total
0,5 %	2020	0,24	0,10	0,37	0,10	0,81
	2030	1,60	0,38	0,73	0,19	2,90
	2050	3,00	1,63	1,67	1,36	7,66
	2070	5,17	4,02	2,82	2,07	14,08
	2100	7,30	11,71	5,43	7,64	32,08
2%	2020	0,22	0,08	0,34	0,09	0,73
	2030	1,31	0,30	0,61	0,15	2,37
	2050	2,15	1,05	1,19	0,88	5,27
	2070	3,13	2,12	1,72	1,20	8,17
	2100	3,80	4,46	2,53	3,09	13,88
4%	2020	0,19	0,07	0,30	0,08	0,64
	2030	1,01	0,22	0,50	0,12	1,85
	2050	1,45	0,61	0,81	0,52	3,39
	2070	1,79	0,98	1,00	0,63	4,40
	2100	1,94	1,49	1,18	1,09	5,70

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 10.16**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIO A2) EN CUATRO ÁMBITOS A 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

(En porcentaje del PIB de 2000 a valor presente neto)						
Tasa de descuento		Impacto				
		Agrícola	Biodiversidad	Agua	Eventos extremos	Total
0,5 %	2020	1,28	0,16	0,43	0,19	2,06
	2030	2,48	0,55	0,81	0,36	4,20
	2050	3,70	2,33	1,99	2,65	10,67
	2070	5,18	5,98	3,51	4,04	18,71
	2100	11,13	17,97	9,80	14,92	53,82
2%	2020	1,20	0,14	0,38	0,17	1,89
	2030	2,11	0,43	0,67	0,30	3,08
	2050	2,86	1,50	1,39	1,73	7,48
	2070	3,53	3,13	2,09	2,34	11,09
	2100	5,40	6,78	4,02	6,03	22,23
4%	2020	1,11	0,11	0,33	0,15	1,70
	2030	1,75	0,32	0,54	0,24	2,85
	2050	2,14	0,87	0,92	1,01	4,94
	2070	2,39	0,98	1,17	1,22	5,76
	2100	2,80	2,23	1,59	2,13	8,75

Fuente: Elaboración propia.

A nivel de sectores, los costos para la producción agrícola aumentarían aceleradamente a partir del año 2070, especialmente con A2 y una tasa de descuento del 0,5%. Según el análisis inicial del sector hídrico, los impactos que se reflejarán en costos se mantendrán relativamente bajos hasta el 2030, y comenzarán a ser altos a partir de 2070, con efectos negativos para el conjunto de países. El costo cuantificable de los impactos en la biodiversidad, medida por el índice de biodiversidad potencial, crecen de manera exponencial a partir del año 2050, con mayor peso de los costos indirectos del sector agropecuario. Los eventos extremos también muestran un crecimiento acelerado a partir del año 2050, cuando el aumento previsto de la temperatura podría implicar una mayor intensidad de este tipo de fenómenos, con mayores costos para los países de la región.

A nivel de países, el cuadro 10.17 presenta los costos iniciales estimados según los cuatro sectores o ámbitos acumulados a 2100 con B2 a distintas tasas de descuento y distintos años. Hasta el 2020 los costos estarían en un rango equivalente al 0,5% del PIB de 2008 para Costa Rica hasta el 2,1% en Nicaragua con la tasa de descuento de 0,5%. No obstante, los costos serían crecientes en el tiempo y en 2050 Nicaragua y Belice enfrentarían costos equivalentes al 13,4% y al 11,3% del PIB de 2008. En un segundo grupo estarían Guatemala y Honduras con costos equivalentes al 9% y al 10%, en tanto que El Salvador y Costa Rica tendrían costos de alrededor del 6,5%, y Panamá del 5,8%. El promedio de la región para 2050 es un 7,7%. En el período de 2050 a 2100, bajo el escenario de emisiones B2, los costos crecerían hasta más de cuatro veces respecto al 2050: el promedio regional llegaría al 32,4%.



Incluso para Panamá los costos podrían ubicarse en un 23,9% del PIB de 2008, en tanto que los de Nicaragua y Belice serían del 59% y el 56%.

**CUADRO 10.17**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIO B2) EN CUATRO ÁMBITOS POR PAÍS A 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Tasa de descuento		Países						
		Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Centroamérica
0,5 %	2020	1,53	0,53	0,69	1,01	1,31	2,05	0,64
	2030	4,21	2,34	2,68	3,29	3,61	5,40	2,95
	2050	11,32	6,39	6,57	9,07	10,16	13,37	7,74
	2070	20,95	11,25	12,09	16,99	18,05	25,45	14,22
	2100	56,21	26,42	25,16	37,67	45,79	59,43	32,41
2%	2020	1,39	0,48	0,62	0,91	1,18	1,88	0,78
	2030	3,50	1,92	2,20	2,71	2,99	4,49	2,43
	2050	7,82	4,41	4,59	6,25	7,00	9,38	5,36
	2070	12,19	6,57	7,10	9,85	10,61	14,86	8,29
	2100	23,61	11,58	11,25	16,37	19,52	25,44	14,10
4%	2020	1,24	0,42	0,54	0,81	1,03	1,67	0,68
	2030	2,77	1,49	1,70	2,13	2,35	3,56	1,90
	2050	5,05	2,83	2,98	4,00	4,48	6,17	3,46
	2070	6,61	3,58	3,88	5,30	5,79	8,14	4,51
	2100	9,28	4,78	4,83	6,77	7,85	10,49	5,84

Nota: El cálculo para Centroamérica corresponde al valor presente neto de la suma de los costos de los países, no al promedio de los costos de los países.

Fuente: Elaboración propia.

En el escenario de emisiones A2 se observa que al 2050 los costos promedio para la región podrían ser equivalentes al 10,4% del PIB de 2008, relativo al valor del 7,7% en B2, con tasa de descuento del 0.5%. No obstante, la mayor alza de emisiones proyectadas en A2 y sus consecuentes implicaciones redundan en un mayor aumento de costos al 2100, llegando al 53,9%, relativo al 32,4% de B2 en relación al PIB de 2008 al 0,5% de tasa de descuento. Con A2 a 2100 los costos acumulados más elevados serían los de Belice y Nicaragua (un 94,7% y un 89,8% del PIB de 2008 a tasa de descuento del 0,5%), seguidos por Honduras (79,6%), Guatemala (63,6%), Costa Rica y El Salvador (46,6% y 43,2%) y Panamá (34,6 %). Los costos para la región serán crecientes y mayores que los de las economías desarrolladas, por lo cual es importante instrumentar acciones y políticas para reducir los costos potenciales (véase el cuadro 10.18).

**CUADRO 10.18**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**(ESCENARIO A2) EN CUATRO ÁMBITOS POR PAÍS A 2100**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

Tasa de descuento		Países							
		Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
0,5 %	2020	2,73	1,16	1,56	1,98	2,52	2,99	1,19	1,68
	2030	5,95	2,84	3,51	4,34	5,01	6,80	3,06	3,83
	2050	16,94	8,56	8,93	11,91	14,69	17,91	7,01	10,35
	2070	30,18	14,63	15,94	21,70	25,56	34,13	12,82	18,48
	2100	94,71	46,58	43,19	63,63	79,55	89,76	34,58	53,90
2%	2020	2,47	1,05	1,40	1,78	2,26	2,69	1,09	1,52
	2030	4,92	2,33	2,89	3,58	4,15	5,61	2,51	3,15
	2050	11,64	5,88	6,21	8,23	10,09	12,42	4,90	7,16
	2070	17,66	8,56	9,41	12,70	15,09	19,81	7,52	10,84
	2100	38,57	19,05	18,04	25,84	32,39	37,14	14,35	22,12
4%	2020	2,17	0,93	1,22	1,56	1,96	2,35	0,97	1,33
	2030	3,89	1,83	2,27	2,83	3,29	4,42	1,96	2,48
	2050	7,46	3,74	4,03	5,30	6,44	8,05	3,22	4,62
	2070	9,63	4,68	5,19	6,92	8,27	10,71	4,15	5,94
	2100	14,51	7,17	7,16	9,87	12,26	14,57	5,68	8,52

Nota: El cálculo para Centroamérica corresponde al valor presente neto de la suma de los costos de los países, no al promedio de los costos de los países.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los costos estimados expresados al VPN permite obtener una medida del impacto del cambio climático, y su expresión respecto al PIB de un año base muestra la magnitud de los costos, pero no permite aproximar el costo sobre el potencial de crecimiento de las economías a largo plazo. El cuadro 10.19 presenta los resultados de un ejercicio donde se acumulan los costos hasta un año de corte, reportados como porcentaje del PIB de dicho año, considerando un escenario de inacción. Por ejemplo, los costos acumulados a nivel Centroamérica entre 2008 y 2030 implicarán un valor equivalente al 2,4% del PIB en este último año. Si se pospusieran acciones para responder al cambio climático hasta el año de 2070 se habrá acumulado un costo equivalente al 3,6% del PIB de ese año, y en 2100 el costo acumulado para toda la región sería del 4,7% del PIB de ese año, considerando los costos actualmente estimados.

**CUADRO 10.19**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CUATRO**  
**ÁMBITOS SIN MEDIDAS DE RESPUESTA POR PAÍS A DIVERSOS AÑOS**

*(En porcentaje del PIB del año de reporte)*

País	2020	2030	2050	2070	2100
Belice	1,7	2,7	4,0	3,8	5,0
Costa Rica	0,8	1,5	2,6	2,6	3,9
El Salvador	1,1	1,8	2,5	2,6	3,2
Guatemala	1,4	2,3	3,5	3,5	5,0
Honduras	1,7	2,6	4,4	4,4	6,3
Nicaragua	2,5	4,3	6,3	6,6	7,7
Panamá	1,0	1,8	2,1	2,0	2,1
Centroamérica	1,5	2,4	3,6	3,6	4,7

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 10.20 muestra otro ejercicio en el cual se estiman los costos como proporción del PIB de cada año, promediados para cada período. Considerando que los escenarios climáticos y sus impactos en sectores tales como recursos hídricos y agricultura muestran volatilidad año con año, lo cual afecta los estimados de costos anuales, lo aconsejable es usar promedios de períodos para identificar tendencias. Así por ejemplo, en un primer período de 2009 a 2020, los costos anuales son equivalentes a un 0,12% del PIB regional anual como promedio de dicho período. Este porcentaje aumentará hasta llegar a un 0,41% en el período 2071-2100. Ambos ejercicios sugieren que en un escenario de inacción los costos se acumularán y aumentarán, afectando sensiblemente el potencial de crecimiento de la región. Considerando efectos indirectos y de otros sectores, la disminución del crecimiento sería aún mayor.

**CUADRO 10.20**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ANUAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CUATRO**  
**ÁMBITOS SIN MEDIDAS DE RESPUESTA POR PAÍS EN DIVERSOS PERÍODOS**

*(En porcentajes del PIB anual promediado por período)*

País	2009-2020	2021-2030	2031-2050	2051-2070	2071-2100
Belice	0,28	0,34	0,41	0,51	0,74
Costa Rica	0,08	0,34	0,22	0,28	0,44
El Salvador	0,10	0,35	0,28	0,21	0,30
Guatemala	0,14	0,39	0,25	0,23	0,32
Honduras	0,17	0,37	0,30	0,35	0,44
Nicaragua	0,07	0,19	0,27	0,32	0,45
Panamá	0,01	0,13	0,24	0,15	0,17
Centroamérica	0,12	0,30	0,28	0,29	0,41

Fuente: Elaboración propia.

La evidencia sugiere que los impactos económicos del cambio climático sobre las economías de Centroamérica son significativos. Estas estimaciones se basan en los impactos medibles de huracanes e inundaciones en el sector agrícola, recursos hídricos y biodiversidad, por lo cual se pueden considerar como un costeo parcial e inicial. Sin embargo, existe un alto nivel de incertidumbre debido a la interacción entre las variables económicas y las condiciones del clima, así como los aspectos sociales, políticos y culturales. Es importante reiterar que las economías de Centroamérica han experimentado cambios estructurales y mostrado ciertas inestabilidades macroeconómicas en las últimas dos décadas. Las características y condiciones de este patrón de crecimiento responden a un conjunto de factores de orígenes múltiples y de diversa índole, tanto económicos, sociales y políticos

con especificidades nacionales. Estos factores se expresan en ocasiones en comportamientos volátiles de algunos agregados macroeconómicos y en proporciones relevantes, por ejemplo inversión a PIB. Adicional al contexto macroeconómico, existe un alto nivel de incertidumbre sobre variables clave como las tecnológicas, los precios relativos de la energía, el consumo de agua y la biodiversidad. Por lo tanto, las estimaciones de costos de este apartado son solo indicativas. No obstante, son superiores que las hechas para países desarrollados en los escenarios B2 y A2. Confirman que los costos del cambio climático son heterogéneos, no lineales y crecientes en el tiempo y que el aumento continuo de la temperatura y los cambios de precipitación probablemente tendrán efectos negativos crecientes para el conjunto de las actividades económicas. Más aún, sugiere que habrá umbrales irreversibles donde los costos aumentarían más que proporcionalmente y que una administración efectiva del riesgo sería esencial en la respuesta a este fenómeno.

## 10.5 CONSIDERACIONES FINALES

Las estimaciones de costos de este apartado son solo indicativas de las magnitudes y tendencias posibles en el futuro, no cifras exactas. No obstante, es posible identificar varias tendencias importantes:

1. El estimado inicial del costo medible acumulado a 2100 con A2, basado en los impactos en sector agrícola, recursos hídricos, biodiversidad, huracanes, tormentas e inundaciones, equivale a 73 mil millones de dólares corrientes o 52 mil millones de dólares a precios de 2002, aproximadamente 54% del PIB regional de 2008 a VPN y tasa de descuento de 0,5%. (Con una tasa de descuento de 4% el valor equivalente es de 9% del PIB regional de 2008 a VPN, evidenciando la importancia de cuál tasa se utiliza.)
2. El costo acumulado en el escenario B2 al 2100 equivale a 44 mil millones de dólares corrientes y 31 mil millones de dólares a precios del 2002, aproximadamente 32% del PIB de 2008 a tasa de descuento 0,5%. (Con una tasa de descuento de 4% el valor equivalente es de 6% del PIB regional de 2008 a VPN). Esto equivale a 60% del valor estimado en el escenario A2 a dólares corrientes. Es importante resaltar que el mayor aumento de costos ocurriría en la segunda mitad del siglo, cuando los efectos de las emisiones serían mayores y en general los costos serían bastante elevados al finalizar el siglo en un escenario de inacción.
3. Los costos del cambio climático son heterogéneos, no lineales y crecientes en el tiempo. Habrá límites irreversibles donde los costos aumenten más que proporcionalmente. Además, los riesgos de daños muy elevados asociados a eventos extremos aumentan con el tiempo. Considerando los escenarios de emisiones B2 y A2, los costos son superiores a los estimados para países desarrollados.
4. Los costos acumulados del sector agrícola se incrementan de manera acelerada a partir del año 2070, pasando de 5,2% del PIB de 2008 en 2050 a 11,1% en 2100. Los costos acumulados del sector hídrico se mantendrían relativamente bajos hasta el 2030, menores al 1% del PIB de 2008. Durante el período 2070-2100 se podrían incrementar de manera acelerada con efectos negativos para el conjunto de los países, pasando de un equivalente de 3,5% a 9,8% durante este período.

5. Los costos acumulados en biodiversidad crecen de manera exponencial a partir del año 2050. Su extrapolación al 2100 indicaría que con una tasa de descuento del 0,5% con el escenario A2, su valor sería equivalente al 18% del PIB de 2008 del conjunto de países de Centroamérica.
6. En el caso de Centroamérica, el costo inicial acumulado estimado con el escenario A2 aumenta del 1,5% del PIB proyectado para 2020 al 4,7% del PIB proyectado a 2100 bajo el escenario base. El aumento continuo de la temperatura tiene efectos negativos crecientes para el conjunto de las actividades económicas. Los costos acumulados en la trayectoria del PIB de cada país muestran que los mayores impactos, sobre todo a partir del 2040, caerían sobre Nicaragua, Honduras, Belice y Guatemala. Bajo el escenario A2, su crecimiento se podría reducir entre 5,0 y 7,7 puntos porcentuales al final del siglo sobre el escenario base. En un segundo nivel de riesgo están Costa Rica, El Salvador y Panamá, cuyo potencial de crecimiento disminuiría hasta en un 3,9% respecto al escenario base en los últimos 20 años del siglo XXI. Panamá podría resultar menos afectado, aunque sus costos serían también crecientes, con impactos alrededor del 2,1% del PIB base al finalizar el siglo, si no se toman medidas de mitigación y adaptación.



## II. VULNERABILIDAD, POBREZA Y ADAPTACIÓN

### II.1 INTRODUCCIÓN

Mientras que la solución definitiva al cambio climático exige reducciones rápidas y significativas de las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero (GEI), la adaptación es ineludible, particularmente en los países de bajos ingresos. Los hallazgos del presente estudio arrojan un triple reto para Centroamérica: resolver las causas del alto nivel de vulnerabilidad socioeconómica y ambiental subyacente; enfrentar los nuevos desafíos de adaptación al cambio climático ya evidente; transitar a economías más sostenibles y bajas en emisión de carbono. Este capítulo aborda los dos primeros retos con un enfoque de adaptación sostenible e incluyente.

La vulnerabilidad socioeconómica y ambiental de la región está ligada a un patrón de desarrollo de largo plazo, algunas de cuyas características son la pobreza de aproximadamente la mitad de la población; las desigualdades socioeconómicas, de etnia y de género; el limitado acceso a alimentos y agua potable; la insuficiencia de la cobertura y calidad de los servicios de salud, educación, seguridad social y de acceso al capital y al crédito productivo; y la dependencia económica de un limitado número de sectores, productos de exportación y países de destino. En el campo político, aunque las décadas de conflicto armado han sido superadas y se han establecido sistemas democráticos electorales, aún quedan tareas para consolidar la democracia y desarrollar la participación de la ciudadanía, incluyendo la ampliación de espacios de consulta y diálogo efectivo entre los sectores sociales.

La vulnerabilidad socioeconómica tiene múltiples causas e impactos materiales, los cuales generan situaciones y percepciones de riesgo, inseguridad e indefensión. En un sentido amplio, la vulnerabilidad se puede entender como la combinación de: i) eventos, procesos y situaciones que entrañan adversidades potenciales para el ejercicio de los derechos ciudadanos y la realización de los proyectos de las comunidades, los hogares y las personas; ii) la incapacidad de respuesta frente a la materialización de estos riesgos; iii) la inhabilidad para adaptarse a las consecuencias de su materialización (CEPAL, 2000; 2002; 2005a).

Esta vulnerabilidad socioeconómica de Centroamérica se exagera por su ubicación geoclimática en un istmo que sirve de puente entre dos continentes, rico en biodiversidad y variedad de ecosistemas, situado entre dos sistemas oceánicos, el Pacífico y el Atlántico, con sus correspondientes procesos climáticos. Como se ha reportado, la región se ve gravemente afectada por ciclones y por el fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS) y su interacción, aún por aclararse, con la Oscilación del Atlántico Norte. Las vulnerabilidades socioeconómicas preexistentes, que de por sí se concentran en las regiones pobres, exponen a las poblaciones a más impactos negativos por las amenazas geoclimáticas (véase el cap. 7). Además, el patrón de desarrollo presiona la capacidad del ambiente para proveer agua, alimentación, energía y protección contra tales fenómenos naturales extremos. En suma, tanto la población humana como el ambiente de Centroamérica enfrentan el cambio climático con alta sensibilidad a su impacto y una reducida “resiliencia” o capacidad de adaptación.

Habrà que enfrentar estos retos en un período de colapso del modelo de autorregulación de los mercados. Esto requiere tomar decisiones para enfrentar la crisis global actual, considerando sus implicaciones de largo plazo. Como ha señalado Bárcena, se está viviendo un cambio de época, el cual demanda profundas transformaciones estructurales que pueden equipararse en escala a la revolución industrial (CEPAL, 2010g). Las transformaciones son exigidas por el cambio climático y otras externalidades causadas por la industrialización y la economía basada en hidrocarburos. Es una llamada de atención planetaria para transitar a economías sostenibles y perdurables, bajas en emisiones de GEI y altamente eficientes en el uso de recursos naturales y en la protección de los ecosistemas. Otro elemento a considerar es el aumento significativo de la población antes de que alcance su estabilización en la segunda mitad de este siglo, la transición demográfica y la migración de poblaciones entre países y entre la ciudad y el campo (véase el cap. 2). El reto de lograr un patrón de desarrollo incluyente con mejores oportunidades y calidad de vida es mayor si consideramos la responsabilidad por las generaciones futuras, es decir, la equidad intergeneracional en el contexto del cambio climático (CEPAL, 2010g). Las próximas décadas se caracterizarán por la expansión de la sociedad del conocimiento o sociedad red. La globalización de las comunicaciones fomenta la desregulación, la autorregulación y un mayor flujo de información, lo que favorece a la democracia. No obstante, también ha contribuido a convertir al mercado en eje central de la definición de identidades. Enfrentar las consecuencias de la excesiva autorregulación del mercado y de la dependencia de los hidrocarburos requiere una mayor conciencia colectiva de los bienes públicos globales. Esto requerirá fortalecer y transformar los procesos y estructuras de gobernanza globales y nacionales (CEPAL, 2010g).

#### **RECUADRO II. I CONCEPTOS DE VULNERABILIDAD, ADAPTACIÓN, SENSIBILIDAD Y RESILIENCIA.**

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) define la vulnerabilidad como el “grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación” (IPCC, 2004).

La definición de sensibilidad acordada por el IPCC es el “grado en que un sistema resulta afectado, positiva o negativamente, por la variabilidad o el cambio climático. Los efectos pueden ser directos (por ejemplo, un cambio en el rendimiento de los cultivos en respuesta a una variación de la temperatura media, de sus intervalos de temperaturas o de su variabilidad) o indirectos (por ejemplo, daños causados por una mayor frecuencia de inundaciones por haber aumentado el nivel del mar)” (IPCC, 2007a).

El IPCC define la habilidad de adaptación al cambio climático como la “capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluyendo la variabilidad climática y los cambios extremos) a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas, o soportar las consecuencias negativas.” (IPCC, 2004). La adaptación involucra “iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático. Existen diferentes tipos de adaptación: preventiva y reactiva, privada y pública, y autónoma y planificada.” (IPCC, 2007a).

(Continúa)

(Continuación Recuadro 11.1)

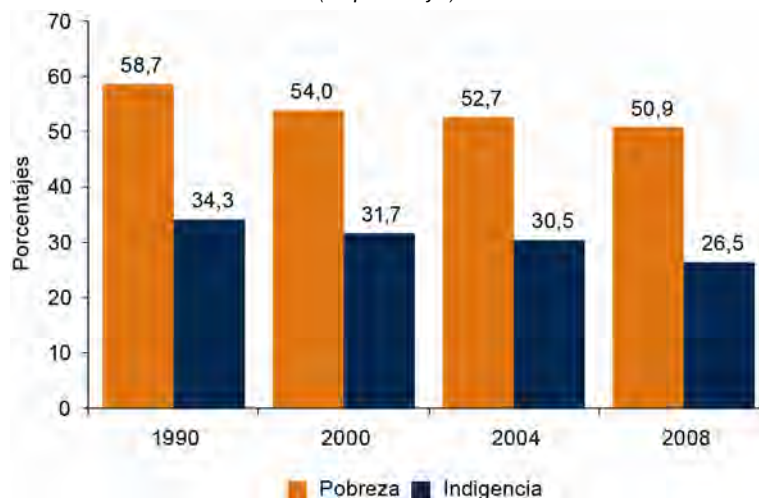
El IPCC también usa el concepto de resiliencia, tomado del vocablo inglés *resilience*, que se refiere a las características de seres o sistemas que lo fortalecen para enfrentar adversidades de forma exitosa. El IPCC lo define como la “capacidad de un sistema social o ecológico para absorber una alteración sin perder su estructura básica, sus modos de funcionamiento, su capacidad de auto organización, ni su capacidad de adaptación al estrés y al cambio (IPCC, 2007a).

En contraste con los avances en mitigación, los campos de la adaptación y la vulnerabilidad están más necesitados de un mayor desarrollo metodológico. No obstante, hay varias iniciativas para crear marcos analíticos e indicadores, por ejemplo, índices de vulnerabilidad-resiliencia (véase Ibarrarán y otros, 2009; Ibarrarán, Malone y Brenkert, 2010). Este proyecto busca desarrollar metodologías para analizar el componente de pobreza y adaptación.

Los expertos del IPCC subrayan que las causas y las soluciones a los problemas derivados del cambio climático se relacionan con la equidad, pues los países y poblaciones que contribuyen menos a la emisión de GEI resultan ser los más vulnerables, los que tienen menores capacidades de adaptación y, por tanto, los que sufrirán los mayores impactos del fenómeno (IPCC, OMM y PNUMA, 2007). Como afirma el Informe Stern (2007), “el cambio climático supone una dura amenaza para los países en vías de desarrollo y un obstáculo grande para la continua reducción de la pobreza en sus múltiples dimensiones”. La comunidad internacional ha advertido que el cambio climático amenaza con destruir los esfuerzos de décadas para reducir la pobreza y la desigualdad. Por tanto, plantea la necesidad de integrar las estrategias de adaptación con las emprendidas para reducir la pobreza y la desigualdad (CEPAL, 2009c; 2010g; IPCC, 2007a; PNUD, 2007; AfDB y otros, 2007).

Cerca de la mitad de la población de Centroamérica vive en la pobreza y alrededor de una tercera parte en pobreza extrema (véase el gráfico 11.1). En 2008, las tasas de pobreza desagregadas por país variaron entre 19% en Costa Rica y 69% en Honduras, mientras que el promedio regional fue de 51%. En el 2006, el PIB per cápita no sobrepasó los 5.000 dólares (a precios constantes de 2000) y cuatro países registraron menos de la mitad de esa cifra, si bien hay cierta diversidad de ingreso (véase el gráfico 11.2). Persiste un alto nivel de desigualdad socioeconómica, de etnia y de género, que se manifiesta en varios indicadores, incluyendo el Índice de Gini, relativamente alto, 0,57 en 2008 (véase el gráfico 11.3), en las tasas diferenciadas de mortalidad y morbilidad infantil y materna, en los niveles de desnutrición y en acceso a alimentos, agua potable, servicios de salud, educación, seguridad social, capital y crédito productivo. El gasto social per cápita y el gasto en educación como porcentaje del PIB son relativamente bajos, con excepción de Costa Rica (véanse los gráficos 11.4 y 11.5).

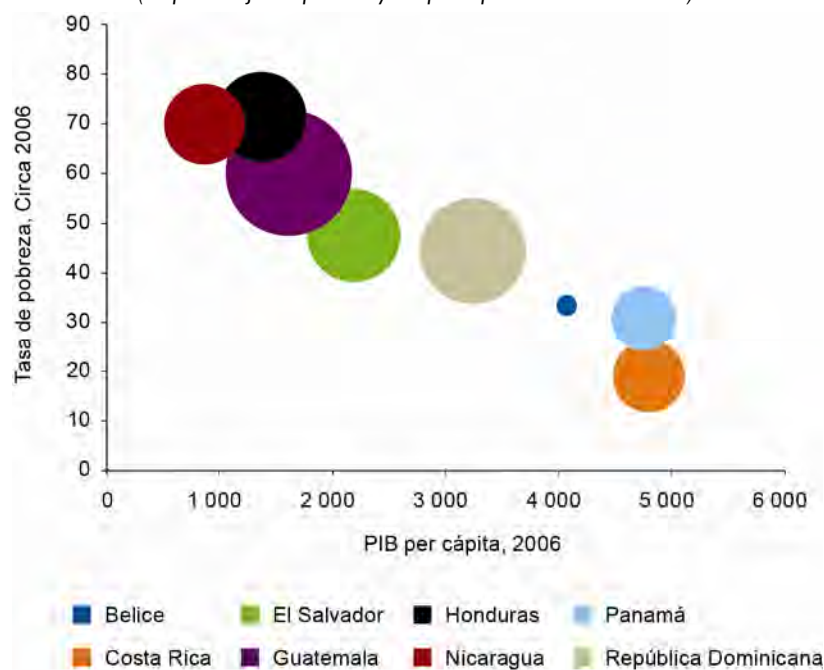
**GRÁFICO 11.1**  
**CENTROAMÉRICA: NIVELES DE POBREZA, 1990 A 2008**  
 (En porcentajes)



Nota: Incluye Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. Datos para Belice no disponibles. Datos para el año de referencia o año más cercano.

Fuente: CEPALSTAT.

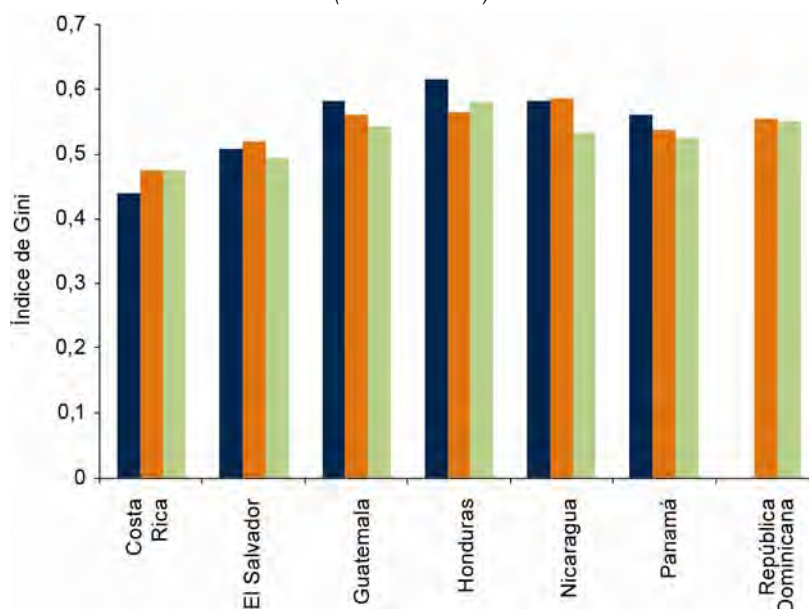
**GRÁFICO 11.2**  
**CENTROAMÉRICA: POBREZA, PIB PER CÁPITA Y TAMAÑO DE POBLACIÓN, 2006**  
 (En porcentajes de pobreza y PIB per cápita en dólares de 2006)



Nota: El tamaño de los círculos corresponde al tamaño de las poblaciones. Pobreza por ingreso per cápita del hogar en 2006 o año más cercano.

Fuente: CEPALSTAT.

**GRÁFICO 11.3**  
**CENTROAMÉRICA: INDICADOR DE DESIGUALDAD, 1990 A 2008**  
 (En índice de Gini)

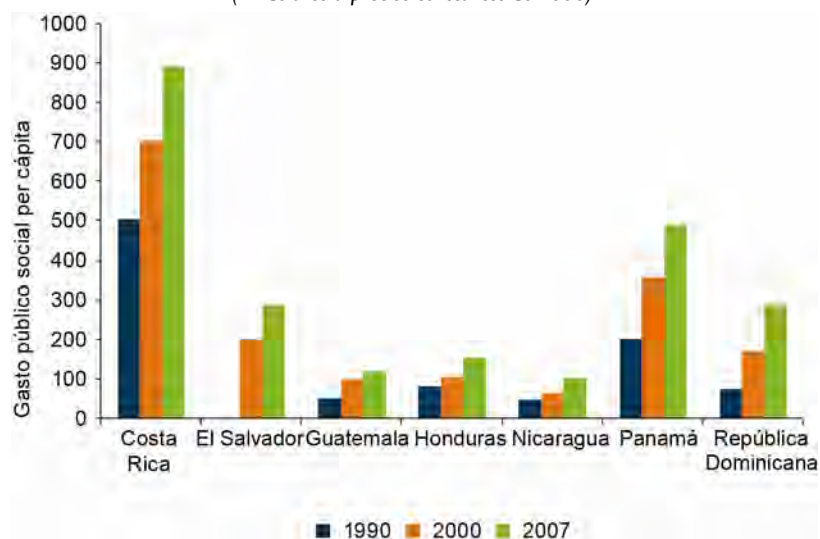


Nota: Desigualdad del Índice Gini con base en ingresos per cápita del hogar.

Datos de Belice no disponibles.

Fuente: CEPALSTAT y CEPAL, 2009f.

**GRÁFICO 11.4**  
**CENTROAMÉRICA Y REPÚBLICA DOMINICANA: GASTO SOCIAL PER CÁPITA, 1990 A 2007**  
 (En dólares a precios constantes de 2000)

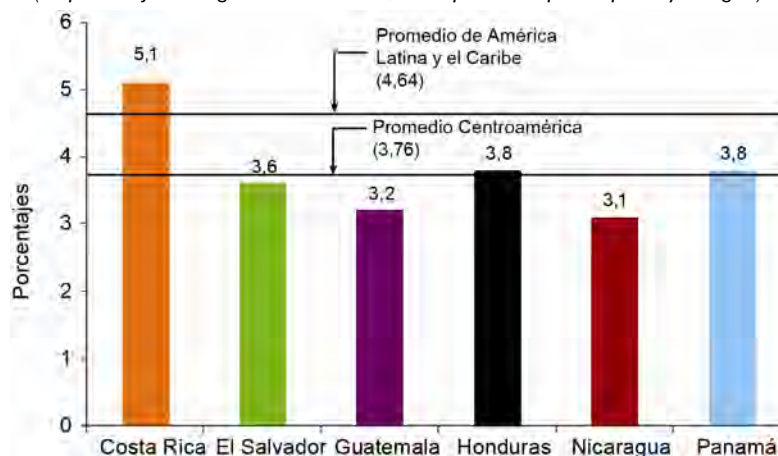


Nota: Datos de Belice no disponibles. Los datos de Honduras son de 2006.

Fuente: CEPALSTAT.



**GRÁFICO 11.5**  
**CENTROAMÉRICA: GASTO TOTAL EN EDUCACIÓN, 2008**  
 (En porcentajes del ingreso nacional bruto, como promedios para 6 países y la región)



Nota: Datos de Belice no disponibles. Datos para 2008 o año más cercano.  
 Fuente: CEPAL, 2007a. Elaboración propia con datos del Banco Mundial.

Durante la primera mitad de la década pasada, El Salvador, Honduras y Nicaragua lograron notables incrementos reales del gasto público social por habitante: 20%, 31% y 51%, respectivamente; Guatemala logró casi duplicarlo en la última década. No obstante, la tasa de crecimiento del gasto social tiende a ser procíclica y no siempre con efectos progresivos respecto a los quintiles más bajos del ingreso en la mayoría de los países (CEPAL, 2006d; 2009e).

Los impactos de cambio climático en la salud incluyen mayor estrés por calor y cambios en los patrones de enfermedades como malaria, dengue y cólera. La malaria continúa siendo un riesgo serio para la salud en la mayor parte de Centroamérica, incluyendo el 100% del territorio de El Salvador (OPS, 2002). Algunas proyecciones sugieren probables disminuciones de malaria en la temporada de transmisión en áreas donde se prevé un descenso de la precipitación. Para Nicaragua se prevé un incremento de la incidencia de la enfermedad. En Guatemala se investigó el impacto potencial en infecciones respiratorias agudas (IRA), enfermedades diarreicas agudas (EDA) y malaria, encontrando que podrían no seguir sus patrones estacionales tradicionales. Un estudio reciente sobre Costa Rica consideró al dengue, la malaria, el asma, las cardiopatías, las diarreas y las enfermedades parasitarias, según la vulnerabilidad en sensibilidad, exposición y resiliencia (véanse los recuadros 11.2 y 11.3).

**RECUADRO 11.2**  
**GUATEMALA: EFECTOS DEL CLIMA, SU VARIABILIDAD Y**  
**CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA SALUD HUMANA**

El estudio fue realizado en el marco de la 1ª. Comunicación Nacional sobre Cambio Climático incluyendo una evaluación sobre los impactos potenciales que el fenómeno del cambio climático tiene sobre la salud pública del país. En primer lugar, se consideró que la salud humana es el resultado de las interacciones entre un conjunto de factores como (1) la biología humana, (2) el ambiente, (3) la situación socioeconómica, (4) los hábitos, costumbres, estilos de vida de las personas y comunidades, y, (5) de la situación de infraestructura socio-sanitaria, especialmente la de los servicios de salud.

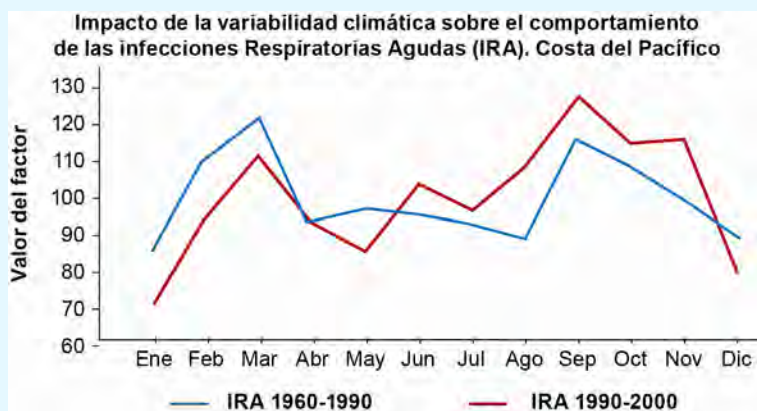
(Continúa)

(Continuación Recuadro 11.2)

El estudio se basó en tres enfermedades, la enfermedad diarreica aguda (EDA), la infección respiratoria aguda (IRA) y la malaria (MA); siendo estas las más representativas en la población, según los datos oficiales del Ministerio de Salud Pública. Las dos primeras son de carácter infeccioso mientras que la tercera es vectorial.

El estudio demostró que las enfermedades analizadas no seguirán sus patrones estacionales históricos y que aparecerán episodios epidémicos fuera de su temporada normal.

Para el caso de las IRA's se analizaron los períodos entre 1960-1990 y entre 1990-2000 considerando número de casos reportados de enfermedades y las variaciones climáticas para cada período. Durante los años comprendidos entre 1960 y 1990 las IRA's tuvieron un comportamiento bimodal, con un fuerte pico en el mes de marzo y otro que alcanza su cima entre los meses de septiembre y octubre. También se aprecia un aumento de su frecuencia al comienzo de la temporada de lluvia (junio y julio) pero también un retraso en la aparición del episodio epidémico típico de finales del verano (línea punteada en azul).



Ante los escenarios de cambio climático esta enfermedad no seguirá su respectivo patrón estacional, produciéndose la aparición de episodios epidémicos o reducciones notables en su incidencia fuera de su temporada normal (línea continua roja).

En los años en que se produce la afectación de los eventos ENOS (El Niño-Oscilación Sur) los impactos se acentúan (Glantz, 1998 y Epstein, 1999) al cambiar la frecuencia de ondas frías, así como al variar las características termodinámicas de las masas de aire que los siguen. La presencia de períodos más cálidos y secos es otra de las consecuencias del ENOS en Guatemala.

Los impactos del Cambio Climático sobre la Salud Humana se reflejan por:

- Un incremento de los índices de mortalidad y morbilidad.
- Un incremento de las Enfermedades Infecciosas y no Infecciosas, transmitidas o no por vectores (malaria, dengue, esquistosomiasis).
- Un incremento de los índices de malnutrición y deshidratación por las dificultades en la disponibilidad de agua y alimentos.
- Daños a la infraestructura pública de salud, a causa del Cambio Climático.
- Efectos psicosomáticos derivados de un Fenómeno Climatológico.

Fuente: Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. (MARN, GEF y PNUD, 2001)

**RECUADRO 11.3**  
**COSTA RICA: EFECTOS DEL CLIMA, SU VARIABILIDAD Y**  
**CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA SALUD HUMANA**

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y el Ministerio de Salud (MINSAL) con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) realizaron un estudio de los efectos del clima, su variabilidad y cambio climático sobre la salud humana en Costa Rica. Su objetivo es caracterizar un grupo de enfermedades de acuerdo a la sensibilidad y la exposición de la población (IMN y Ministerio de Salud de Costa Rica, 2008). Así, se caracterizó la relación entre clima, variabilidad y cambio climático con las áreas, zonas o sectores más propensas a sufrir daños o pérdidas.

Para evaluar la vulnerabilidad de las enfermedades priorizadas se utilizaron métodos cuantitativos de análisis de la sensibilidad para establecer relaciones entre elementos de clima y registros históricos de tasas o número de casos, incluyendo los costos económicos. La exposición a enfermedades fue realizada por la identificación espacial de las áreas y de los grupos poblacionales con mayor incidencia de la enfermedad y su relación con las regiones climáticas.

Se identificaron cuatro grupos de enfermedades importantes con datos disponibles para diferentes periodos: enfermedades de transmisión vectorial (Dengue 1993-2006, Malaria 2004-2006), enfermedades cardiorrespiratorias (Asma 1998-2006, cardiopatías 1990-2006), enfermedades gastrointestinales (Diarreas 1996-2006) y enfermedades parasitarias (Angiostrongilosis abdominal 1995-1999).

Los grupos más vulnerables a estas enfermedades se dividen en dos. Las enfermedades de transmisión vectorial como dengue y malaria son más frecuentes en la población económicamente activa de 15-45 años. El resto de enfermedades se presentan principalmente en los grupos dependientes de infantes y personas de la tercera edad. Por estas características, los impactos en los grupos vulnerables afectan el desarrollo nacional debido al ausentismo por incapacidades tanto en escuela como en el trabajo.

El clima, su variabilidad y cambio no son las causas del 100% de la incidencia de las enfermedades, pero explican un porcentaje que puede ser potenciado por los efectos del calentamiento global. En este sentido, los escenarios futuros de cambio climático prevén un aumento de los eventos meteorológicos extremos, que pueden asociarse con los impactos de ENOS en la región centroamericana y un aumento de temperatura a nivel nacional de entre 2 °C y 6 °C. En los casos del dengue y la malaria, el aumento de la temperatura afectaría al metabolismo y fisiología de los mosquitos (tasa alimenticia, frecuencia reproductiva), lo cual se podría traducir en un mayor riesgo en todo el país, principalmente en las zonas que ya son de alto riesgo. En cuanto a la diarrea, un aumento de un grado centígrado de temperatura del planeta eleva en un 5% los casos en países en vía de desarrollo (Cantero y Fonseca, 2007); pero más que todo las alteraciones de las lluvias provocarán desequilibrios hídricos que faciliten la propagación de virus y bacterias causantes de diarreas en niños y adultos (Cantero, 2007).

Con respecto al asma, una mayor exposición a ambientes de elevada humedad ambiental y altas temperaturas podrían ser perjudiciales para la población. Finalmente, los escenarios de precipitación proyectados para las zonas de mayor afectación de angiostrongilosis abdominal podrían ayudar a disminuir el riesgo de contagio en la población ya que el ambiente seco limita el desarrollo de los hospederos intermedios del parásito.

(Continúa)

(Continuación Recuadro 11.3)

**RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA VULNERABILIDAD**

Enfermedad	Exposición		Sensibilidad	
	Grupo vulnerable	Zona vulnerable (Región y cantón más vulnerable)	Relación con cambio climático	Impacto económico <sup>a</sup>
Dengue	Grupo poblacional entre 15 y 44 años. Población económicamente activa	Pacífico Norte y región Caribe (Orotina)	Aumento de las temperaturas ambientales y lluvias	\$630 000 (¢346 millones)
Malaria		Región Caribe (Matina)		\$154 000 (¢85 millones)
Asma	Niños menores de 9 años, adultos mayores de 65 años	Región Central, Pacífico Norte y Pacífico Central (Alajuela Centro)	Aumento de contaminación ambiental, olas de calor y humedad	\$53 000 000 (¢29 000 millones)
Cardiovascular	Adultos mayores de 65 años con padecimientos cardíacos, broncorrespiratorios, hipertensión y obesidad	Pacífico Norte, Pacífico Central, y región Central (Atenas)	Aumento del ozono estratosférico, aumento de temperatura y olas de calor	No aplica porque el indicado es tasa de mortalidad
Diarreas	Niños menores de 5 años y adultos mayores de 65 años	Región Central, Pacífico Norte (San José Centro)	Desequilibrios hídricos	\$9 000 000 (¢5 mil millones)
Angiostrongilosis abdominal	Niños entre 1 y 5 años, así como en la población escolar	Zona Norte (Upala)	Desequilibrios hídricos que afecten el desarrollo de plagas de moluscos y roedores	\$162 300 (¢89 millones)

<sup>a</sup> Promedio anual del costo de atención de enfermos (dólares al tipo de cambio actual ¢550x\$1), tomando como base el costo promedio por atención, el número de atendidos y el promedio de consultas por persona.

Fuente: IMN y Ministerio de Salud de Costa Rica, 2008.

El reto de la inversión social se relaciona con el predominio del trabajo informal y la limitada cobertura de protección social en la mayoría de los países. Solo los ocupados en el sector formal tienen acceso a esta cobertura, incluyendo pensiones, seguro de desempleo y servicios de salud, entre otros, pero no en todos los casos. Peor aún, la cobertura de los ocupados formales ha disminuido en los últimos años en la mayoría de los países (CEPAL, 2006d; Bertranou y Durán, 2005) (véase el cuadro 11.1). El reducido gasto social por habitante —relativamente más alto en Panamá y Costa Rica— limita la resiliencia y las capacidades de adaptación. En años recientes se han implementado programas de transferencias condicionadas a familias pobres en varios países para complementar el ingreso e incentivar el uso de servicios de salud y educación. Estos programas han sido diseñados para la población rural, pero hay iniciativas para adaptarlos al medio urbano. En el período de adaptación al cambio climático, una posibilidad es ampliar la cobertura de estos programas y agregar componentes que incentiven la adaptación.

**CUADRO 11.1**  
**CENTROAMÉRICA: COBERTURA DE LA SEGURIDAD SOCIAL, ALREDEDOR DEL 2006**

*(En porcentajes de la población)*

<b>País</b>	<b>Total nacional</b>	<b>Sector urbano formal</b>	<b>Sector urbano informal (asalariado)</b>
Costa Rica	65,2	86,4	39,7
El Salvador	28,9	75,8	8,2
Guatemala	17,7	61,2	7,5
Honduras	19,8	65,6	5,7
Nicaragua	17,4	58,6	3,2
Panamá	47,8	85,3	27,6

Nota: Datos de Belice no disponibles.

Fuente: CEPAL sobre la base de tabulaciones especiales de las encuestas de hogares de los países.

Una parte importante de la población en situación de pobreza, especialmente en las áreas rurales, depende en forma directa del ambiente para acceder a agua, alimentos, techo, medicinas y energía, entre otros. La falta de capital y alternativas de medios de subsistencia provoca la sobreexplotación del ambiente por estas poblaciones. El patrón general de desarrollo y las debilidades de gestión del riesgo han creado un círculo vicioso de empobrecimiento humano y debilitamiento del ambiente, lo que se complicará aún más con el avance del cambio climático.

Otra parte de la población en situación de pobreza —como la de zonas urbanas marginales y/o que depende de la economía informal— enfrentará con serias desventajas las inestabilidades económicas que el cambio climático podría provocar. Este segmento accede a la mayor parte de sus bienes y servicios por medio del mercado. Los estudios sectoriales sugieren que podrían sufrir diversos impactos. La reducción e inestabilidad de la disponibilidad del agua y de los rendimientos agrícolas pueden afectar los mercados laborales y el suministro y precio de los bienes básicos. Es posible que los impactos del cambio climático en las zonas rurales aumenten el flujo migratorio hacia las zonas urbanas.

Como se ha indicado, el cambio climático tiene varios impactos directos e indirectos, los cuales ilustran las diferentes formas y fuentes de vulnerabilidad de determinadas poblaciones. El análisis de la problemática requiere un enfoque de las múltiples dimensiones de procesos y experiencias de “pobreza”, como el de “capacidades y oportunidades” de Amartya Sen (1999). Lo anterior implica un análisis de la capacidad de las personas para adaptarse al cambio climático no sólo en función de la disponibilidad de recursos económicos, naturales, educativos y sanitarios, sino también de su habilidad para aprovecharlos.

La participación y la representación políticas son importantes. Aunque los países han establecido sistemas democráticos electorales, aún falta camino por recorrer para que las poblaciones marginadas, como las mujeres y las poblaciones indígenas y afrodescendientes, logren una participación efectiva en espacios de consulta y toma de decisiones. Igualmente, se requerirá un análisis con enfoque de género y etnia para lograr una mayor precisión de las diferencias de vulnerabilidad y resiliencia con perspectiva temporal amplia, ya que el cambio climático puede empeorar el círculo vicioso de empobrecimiento intergeneracional.



El cambio climático requerirá esfuerzos mayores que los desplegados hasta ahora para lograr los Objetivos del Milenio (ODM) (IPCC, 2007b),<sup>1</sup> entre ellos la reducción del hambre y la pobreza, la disminución de la mortalidad relacionada con epidemias infecciosas y altas temperaturas, mayor acceso a agua potable y saneamiento, un ambiente natural protegido y el desarrollo de un sistema financiero y comercial abierto y equitativo, incluyendo los nuevos acuerdos de adaptación y mitigación y los mercados de carbono. A estos esfuerzos se agregan los relacionados con la paz, la migración, el buen gobierno y la seguridad ciudadana, ya que el cambio climático añade elementos que amenazan la cohesión social y la seguridad, en especial de las democracias más vulnerables (Fetzek, 2009). En esta región, como en muchas otras, la población más afectada por el cambio climático será también la más desprotegida ante los retos de los ODM.

## 11.2 FACTORES CLAVES PARA ADAPTACIÓN Y REDUCCIÓN DE VULNERABILIDADES

En función de las características de la región y sus vulnerabilidades, los análisis de los sectores y ámbitos prioritarios y de las propuestas vigentes a nivel nacional y regional, se sugiere tomar en cuenta los siguientes factores:

- La adaptación al cambio climático pasará por reducir las vulnerabilidades socioeconómicas existentes y aumentar la resiliencia de las sociedades y poblaciones específicas. Esto implica tomar en cuenta los retos estructurales e históricos del desarrollo y el cambio de época que se está experimentando.
- El cambio climático exhibe complejos retos de equidad porque las poblaciones beneficiadas por las emisiones de GEI históricas no son las mismas que sufren sus peores consecuencias. Estas últimas no necesariamente tienen el poder económico y político para conseguir que sus necesidades sean respetadas.
- El cambio climático es un fenómeno de flujos y acumulación de GEI en la atmósfera. Habrá impactos futuros de las acciones pasadas y presentes. Por esta razón, el fenómeno afecta la equidad intergeneracional además de la intrageneracional e implica que las decisiones a tomar hoy requerirán análisis de escenarios futuros y propuestas de largo plazo.
- El cambio climático es una externalidad cuyos costos no se reflejan completamente en la economía actual. Aunque el principio de responsabilidades compartidas y diferenciadas está establecido en la CMNUCC, los responsables históricos de esta externalidad no han asumido sus costos.
- El clima es un bien público global que requiere esfuerzos negociados, concertados y colectivos. Esto implica reforzar el Estado, entendido como instituciones y procesos de toma de decisión y acción de sociedades y colectividades.
- La adaptación implicará no sólo adaptarse a los impactos experimentados por los países, sino a los cambios previstos para la economía global, principalmente la transición hacia una economía baja en carbono. Esta transición puede implicar medidas como un impuesto global al contenido carbónico de hidrocarburos y barreras o impuestos a importaciones por su contenido carbónico.

---

<sup>1</sup> El IPCC advierte la probabilidad de que el cambio climático impida alcanzar los ODM en los próximos cincuenta años (IPCC, 2007b).

- Para países con recursos fiscales y de inversión limitados, tomar y financiar medidas de adaptación separadas de las destinadas a mejorar la sostenibilidad y reducir emisiones puede ser oneroso. Lo adecuado es diseñar medidas que integren estas prioridades y considerar los cobeneficios e impactos negativos de una medida frente a otra.
- El financiamiento internacional y el acceso a tecnologías apropiadas de adaptación son esenciales, pero su disposición es extremadamente limitada y carece de mecanismos de transferencia eficientes.
- Falta desarrollar metodologías cuantitativas y cualitativas para evaluar la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación, particularmente de las sociedades en desarrollo<sup>2</sup>.
- El fortalecimiento de capacidades para recolectar datos, analizar los impactos del cambio climático y formular e implementar respuestas es en sí un elemento clave para la adaptación. La región cuenta con expertos pero son insuficientes para la tarea y es necesario educar y movilizar a diversos sectores.
- Falta analizar costos no contabilizados e indirectos en otros sectores. Los resultados y escenarios aquí presentados deben interpretarse como estimaciones de tendencias futuras, no como cifras definitivas, por las incertidumbres de este tipo de análisis.

### II. 3 PROYECTOS DE ADAPTACIÓN EN CENTROAMÉRICA

En la última década se han realizado una serie de proyectos y programas orientados a reducir la vulnerabilidad y/o promover la adaptación al cambio climático. Existen iniciativas en diversos sectores que contribuyen a este reto sin haberse diseñado con el cambio climático en mente. Algunos proyectos son principalmente nacionales, otros proyectos binacionales y regionales. El siguiente cuadro presenta una muestra representativa (no exhaustiva) de los proyectos identificados con los socios del proyecto y en un estudio de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (UICN y FLACSO, 2008; CEPAL y DFID, 2009).

---

<sup>2</sup> Las metodologías cualitativas y participativas pueden aportar información relevante para la toma de decisiones. Debido a la escasez de datos cuantitativos, es importante tomar en consideración las percepciones de riesgo y vulnerabilidad y la necesidad de sensibilizar y movilizar diversos sectores de las sociedades en respuesta a esta amenaza.

**CUADRO 11.2.**  
**CENTROAMÉRICA: ALGUNOS PROYECTOS REGIONALES, BINACIONALES Y NACIONALES PARA REDUCIR LA VULNERABILIDAD Y/O PROMOVER LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

	Nombre del proyecto	Objetivo
Proyectos regionales	<p>Proyecto Regional Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC) y <i>Global Environmental Facility</i> (GEF)</p> <p>Capítulo Costa Rica: Adaptación del sistema hídrico de la zona noroccidental de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica al cambio climático, Ministerio de Ambiente, Energía y Tecnología (MINAET)- Instituto Meteorológico Nacional (IMN), CATHALAC y GEF</p> <p>Capítulo El Salvador-Zona de estudio: parte oriental y sur central, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) El Salvador, CATHALAC y GEF</p> <p>Capítulo Guatemala-Cuencas de los ríos El Naranjo y San José, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) Guatemala, CATHALAC y GEF</p> <p>Capítulo Honduras-Cuencas del Río Aguan, Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), CATHALAC y GEF</p> <p>Capítulo Nicaragua: Adaptación a los sistemas de los recursos hídricos y agricultura en la Cuenca No. 64 (entre el volcán Cosigüina y el río Tamarindo), Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), CATHALAC y GEF</p> <p>Capítulo Panamá: Proyecto de Adaptación a la Cuenca del Río Santa María, Autoridad Nacional de Ambiente (ANAM), CATHALAC y GEF</p>	<p>Sentar las bases para la adaptación de los sistemas humanos al cambio climático para reducir la vulnerabilidad a sus impactos, incluyendo la variabilidad natural del clima, riesgos y eventos extremos para los sistemas nacionales seleccionados.</p>
	<p>Programa Regional de Seguridad Alimentaria y Nutricional para Centroamérica (PRESANCA y PRESANCA II)</p> <p>Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), Unión Europea</p>	<p>Contribuir a la reducción de la vulnerabilidad de las poblaciones más pobres de Centroamérica (Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua), participando en la disminución de su inseguridad alimentaria y nutricional y contribuir al refuerzo de la integración centroamericana promoviendo orientaciones regionales y políticas nacionales de seguridad alimentaria y nutricional en el marco de un proceso de concertación de las políticas sociales y económicas.</p>
	<p>Programa de reducción de la vulnerabilidad y degradación ambiental (PREVDA), SICA a través de las Secretarías de Ambiente: Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), Agua: Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH) y Gestión del riesgo: Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), Unión Europea, Ministerios de Ambiente</p> <p>Capítulo Costa Rica: Cuenca del río Reventazón-Parismina, Comisión para el Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Reventazón (COMCURE), MINAET, Unión Europea</p> <p>Capítulo El Salvador-Cuenca Río Lempa, MARN El Salvador, Unión Europea</p> <p>Capítulo Guatemala-Cuenca Salamá, MARN Guatemala y Unión Europea</p> <p>Capítulo Honduras-Cuenca Choluteca, SERNA y Unión Europea</p> <p>Capítulo Nicaragua-Cuenca Río San Juan, MARENA y Unión Europea</p> <p>Capítulo Panamá- Cuenca Río Indio, ANAM y Unión Europea</p>	<p>Desarrollar condiciones políticas e institucionales en la región para impulsar cambios hacia la gestión integral de los riesgos relacionados con el agua, con una perspectiva de Gestión Ambiental en Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá.</p> <p>El CEPREDENAC, el CRRH, la CCAD y sus contrapartes nacionales han mejorado :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sus capacidades conjuntas de planificación, coordinación y ejecución,</li> <li>• Los instrumentos normativos y regulatorios pertinentes de alcance regional, nacional y local,</li> <li>• Las capacidades de generación y difusión de información,</li> </ul> <p>para facilitar la gestión integral de los riesgos socio naturales relacionados con el agua, con una perspectiva de gestión ambiental.</p> <p>También han implementado iniciativas de gestión ambiental orientadas a la reducción de las amenazas socio naturales y de las vulnerabilidades en las cuencas hidrográficas estratégicas de la región.</p>

(continúa)

(Continuación Cuadro 11.2)

Proyectos regionales	TroFCCA ( <i>Tropical Forest and Climate Change Adaptation</i> ): El bosque Tropical y su Adaptación al Cambio Climático, Centro Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y Centro Agronómico Internacional para la Investigación Forestal (CIFOR), Unión Europea, Ministerios de Ambiente y Agricultura y otras instituciones nacionales de Costa Rica, Nicaragua y Honduras	Desarrollar el conocimiento de los bosques tropicales para su adaptación al cambio climático. Incluye la elaboración de metodologías de evaluación de la vulnerabilidad y el desarrollo de estrategias para vincular la adaptación al desarrollo sostenible.
	Plan de Desarrollo Regional Integral del Trifinio-El Salvador Honduras Guatemala-, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (OEA), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Comunidad Económica Europea	El Proyecto tiene por objetivo final contribuir a la integración y desarrollo físico, social y económico de las regiones fronterizas de los tres países, en torno al punto convergente en el Macizo de Montecristo, por medio del apoyo a la agricultura, forestería, infraestructura y conservación del medio ambiente.  Uno de sus objetivos intermedios es el desarrollo y conservación del bosque nebuloso que cubre las laderas trinacionales de ese macizo, mediante su reforestación y acondicionamiento como parque natural y reserva de la biosfera. También se contempla la integración de la población campesina circundante menos favorecida a las tareas de conservación, mediante la dotación de medios para mejorar sus explotaciones agrícolas e incrementar sus rentas personales, incorporándola a los trabajos de reforestación con beneficio a su favor de las especies arbóreas maderables.
	Programa Regional de Sistemas de Información en Seguridad Alimentaria y Nutricional (PRESISAN), Unión Europea	Promover y mejorar las condiciones que permitan la promoción de la seguridad alimentaria y nutricional de la población más pobre y con altos niveles de vulnerabilidad en la Región Centroamericana, así como brindar apoyo a los países de la Región que permita un proceso adecuado de toma de decisiones, se apoye al logro del Objetivo del Milenio, y a otros vinculados con la reducción de la desnutrición.
	Planes de Adaptación al Cambio Climático-Sector de Agua	El programa consistiría en: (i) contribuir a la creación de directrices para las “mejores prácticas” en la adaptación al cambio climático en el sector agua y servicios sanitarios; (ii) definir la vulnerabilidad al cambio climático de este sector; (iii) contribuir a fortalecer la capacidad de los operadores del sector para responder al cambio climático en términos de necesidades y vulnerabilidad; (iv) contribuir a los esfuerzos del Banco para clasificar, monitorear y evaluar sus inversiones sobre la reducción de la vulnerabilidad del cambio climático en la región.
	Proyecto de “Innovación en la agricultura bajo riego y gestión de la inestabilidad climática para contribuir a la seguridad alimentaria”, FAO	Contribuir a incrementar el conocimiento y la capacidad de gestión y para poner en práctica políticas sustentables para la agricultura bajo riego.  Tales capacidades se orientarán a mejorar el sector productivo (productores y agro-empresarios), el sector gubernamental, y el de educación, investigación y transferencia tecnológica.
	Proyecto “Uso eficiente del agua en riego de pequeña escala en zonas de vulnerabilidad a condiciones climáticas” e iniciativas afines, Programa Mexicano de Cooperación internacional para el Desarrollo	Contribuir con el desarrollo sostenible e inclusivo del sector agropecuario y del medio rural de los países miembros del Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC), mediante la identificación, adaptación y transferencia de opciones tecnológicas para un uso eficiente y sostenible del agua, especialmente en riego de pequeña escala.

(Continúa)

(Continuación Cuadro 11.2)

Proyectos binacionales	Fortalecimiento de la capacidades para la Adaptación al Cambio Climático en el golfo de Fonseca, Universidad Centroamericana en Nicaragua, Unión Europea (UE), OIKOS (PORTUGUESA), Fundación Salvadoreña para la Promoción Social y el Desarrollo Económico (FUNSAL PRODESE), Instituto para la Cooperación y Autodesarrollo (ICADE Honduras), Instituciones de El Salvador, Honduras y Nicaragua	Integrar temas de adaptación ante el cambio climático para la reducción de la vulnerabilidad y el desarrollo sostenible de los recursos naturales.
	Programa de Desarrollo Sostenible de la Cuenca Binacional del Río Sixaola (Costa Rica-Panamá), Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Mejorar las condiciones de vida de la población de la cuenca Binacional del Río Sixaola mediante intervenciones en los ámbitos económico, social, ambiental y de gestión local que contribuyan a la implementación de un modelo de desarrollo sostenible (el primer componente es de Gestión Ambiental, Manejo de Recursos naturales y Reducción de la Vulnerabilidad).
	Fortalecimiento de la capacidad local para el manejo de los recursos hídricos en cuencas transfronterizas en Nicaragua y Honduras – Departamentos El Paraíso y Nueva Segovia (Unión Europea, Honduras y Nicaragua)	Fortalecimiento de la capacidad local para el manejo de los recursos hídricos en cuencas transfronterizas en Nicaragua y Honduras – Departamentos El Paraíso y Nueva Segovia.
Costa Rica	Proyecto fortaleciendo capacidades ante los riesgos de Cambio Climático en la costa Pacífica en Costa Rica, Cruz Roja Costarricense, Cruz Roja Holandesa	Fortalecer las capacidades comunitarias ante eventos hidrometeorológicos.
	Mejoramiento de capacidades nacionales para la evaluación de la vulnerabilidad y adaptación del sistema hídrico al Cambio Climático en Costa Rica, como mecanismo para disminuir el riesgo al cambio climático y aumentar el índice de desarrollo humano	Fortalecer la capacidad institucional para generar e implementar políticas y estrategias de adaptación en áreas geográficas con un índice de desarrollo menor, en el sistema hídrico.  Actualizar el Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico costarricense.
	Bosques tropicales y adaptación al cambio climático	Estudiar la vulnerabilidad de los bosques y los servicios ecosistémicos, las consecuencias de esta vulnerabilidad para la sociedad y las estrategias de adaptación apropiadas.
	Proyecto Cooperativo Sobre Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en la Gestión Forestal Sostenible en Iberoamérica (MIA)	Generar información y conocimiento nuevo y fortalecer las capacidades de las instituciones de investigación y del sector forestal de Iberoamérica para adaptarse al cambio climático y contribuir a la mitigación del mismo mediante la gestión forestal sostenible.
	Determinantes de Pequeños Productores de la Adaptación Privada a las Estrategias del Cambio Climático	Analizar los determinantes de adaptación al cambio climático en pequeños agricultores utilizando experimentos de campo para reflejar las principales características de los daños asociados con incertidumbre, variantes en los costos de adaptación y manejo de la información en la toma de decisiones.
	Programa Nacional de Monitoreo Ecológico Terrestre de las Áreas Protegidas y Corredores Biológicos de Costa Rica (PROMEC-CR), CATIE	Identificar los impactos del cambio climático para las áreas protegidas y corredores biológicos de Costa Rica y contribuir a la conservación de la biodiversidad y al cumplimiento con las metas 2010 de la Convención sobre Diversidad Biológica.

(Continúa)



(Continuación Cuadro 11.2)

Costa Rica	<p>Evaluación de los flujos de inversión y financieros para la adaptación de los sectores biodiversidad e hídrico necesarios para hacer frente al cambio climático</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar los flujos de inversión y financieros necesarios para hacer frente al cambio climático en los sectores clave seleccionados;</li> <li>• Desarrollar opciones de políticas para hacer frente al cambio climático en diferentes sectores y actividades económicas; fomentando de este modo la planificación financiera sectorial a largo plazo para el cambio climático.</li> </ul>
	<p>Adaptación al cambio climático a través de la construcción de infraestructura básica en la comunidad El Nilo I, Asociación Cooperativa de Producción Artesanal y Comercialización para el Desarrollo y Aprendizaje de la Juventud del Área Rural de Responsabilidad Limitada (ACODASJAR de R.L), IBIS-HIVOS</p>	<p>Reducir el riesgo de desastres y mejorar la adaptación al cambio climático en la comunidad El Nilo I.</p>
	<p>Respuesta y mitigación de la sequía en El Salvador, Cruz Roja española, Cruz Roja salvadoreña y delegación de Cruz Roja en Centroamérica, Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja</p>	<p>Aumentar la capacidad de subsistencia de los agricultores en el Este del país.</p>
El Salvador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción participativa de una agenda nacional y regional de adaptabilidad y mitigación ante el cambio climático, Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES), <i>Christian Aid</i></li> </ul>	<p>Contribuir a la construcción de una política nacional de cambio climático a través de iniciativas de adaptabilidad y mitigación, campañas de sensibilización, formación e incidencia en las políticas públicas, a fin de disminuir la vulnerabilidad y encaminarse hacia la sustentabilidad nacional.</p>
	<p>Construcción de una agenda local de adaptabilidad al cambio climático, UNES, TROCAIRE</p>	<p>Sin definir.</p>
	<p>Reconstrucción y Gestión del Riesgo en América Central después de la Tormenta Stan (RyGRAC), Cooperación Técnica Alemana</p>	<p>En municipios seleccionados, los actores locales en cooperación con instituciones nacionales restablecen la base productiva y reducen la vulnerabilidad ante amenazas naturales.</p>
	<p>Fortalecimiento de las capacidades comunitarias para la reducción de riesgos y mejoramiento de las condiciones ambientales de las comunidades de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Palo de Agua, (Asociación de Desarrollo Comunal (ADESCOPA), (GEF-Small Grants Programme (SGP))</li> <li>• El Chino (Asociación de Desarrollo Comunal, GEF-SGP)</li> <li>• La Zarcera, (Asociación de Desarrollo Comunal Caserio La Zarcera (ADESCOCALZA), GEF-SGP)</li> <li>• Colonia La Barra (Asociación de Desarrollo Comunal Colonia LA, GEF-SGP)</li> <li>• San Rafael, (Asociación de Desarrollo Comunal Doce de Marzo (ADESCODM), GEF-SGP)</li> <li>• Los Tres Reyes (Asociación de Desarrollo Comunal Los Tres Reyes (ADESCOLTR))</li> </ul>	<p>Fortalecimiento de las capacidades comunitarias para la reducción de riesgos y mejorar las formas de vida de la comunidad.</p>
	<p>Fortalecimiento de las capacidades comunitarias para la reducción de riesgos y sostenibilidad de los recursos naturales en las comunidades de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marínes Agua Zarca (Asociación de Desarrollo Comunal Marínes Agua Zarca (ADESCOMAS), GEF-SGP)</li> <li>• El Arenal, Mameyal, Palmo Real, Santa Teresa, Rosario Centro, El Carrizal y Sincuyo Centro, Asociación Comunal de Desarrollo Rural y Agua Potable de Tacuba (ASDERAT), GEF-SGP</li> <li>• San Francisco Metalillito (Asociación Comunal de Desarrollo Comunal Caserio San Francisco Metalillito, GEF-SGP)</li> <li>• La Coquera (Asociación de Desarrollo Comunal La Coquera, GEF-SGP)</li> </ul>	<p>Fortalecimiento de las capacidades comunitarias para la reducción de riesgos y sostenibilidad de los recursos naturales.</p>

(Continúa)

(Continuación Cuadro 11.2)

	Fortalecimiento de las capacidades comunitarias para la reducción de riesgos y desarrollo de agricultura orgánica y de conservación en las comunidades de:	Fortalecimiento de las capacidades comunitarias para la reducción de riesgos y desarrollo de agricultura orgánica.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Congo, Asociación de Desarrollo Comunal del Congo (ADESCONA), GEF-SGP, de las Cococicas: Asociación de Desarrollo Municipal "Solidaridad" (ADEMSOL), GEF-SGP</li> <li>• La Tejera (Asociación Comunal Colonia La Tejera, GEF-SGP), de Fe y Esperanza (Asociación de Desarrollo Comunal Fe y Esperanza, GEF-SGP)</li> <li>• San Felipe (Asociación de Desarrollo Comunal Nuevo Amanecer, GEF-SGP)</li> <li>• Sisimitepet (Asociación Comunal Administradora del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable, Salud y Saneamiento "Milagro de Dios", GEF-SGP)</li> <li>• Las Ilusiones (Asociación de Desarrollo Comunal Las Ilusiones (ADESCOLI), GEF-SGP)</li> <li>• El Porvenir, San Bartolo y La Florida (Asociación Municipal de Mujeres de Toluca, GEF-SGP)</li> </ul>	
El Salvador	Sistema de Alerta Temprana de la cuenca del río Jiboa. CARE El Salvador	Desarrollar mecanismo de monitoreo comunicación para la alerta temprana y fortalecimiento comunitario ante inundaciones.
	Sistema de Alerta Temprana multiamenaza con el apoyo de redes locales. Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)-MARN	Desarrollo y fortalecimiento de un sistema nacional de alerta temprana para inundaciones en las 5 principales cuencas del país, sistema de información para las zonas de alto potencial de deslizamientos.
	Fortalecimiento de capacidades locales para la gestión del riesgo en zonas marginales del Área Metropolitana de San Salvador. OXFAM Solidaridad	Mejoramiento de los niveles de información, organización y participación de la población amenazada por inundaciones y deslaves en comunidades marginales del Municipio de Mejicanos y el Distrito V de San Salvador.
	Sistema Regional de Información, Monitoreo y Alerta Temprana en el Sur de Ahuachapán, El Salvador. OIKOS Portugal	Mejoramiento de la preparación a nivel comunitario y reducción del impacto de las inundaciones y deslizamientos en la mayoría de las familias vulnerables del área del Sur de Ahuachapán, El Salvador.
	Prevención y mitigación de desastres del Proyecto desarrollo sostenible de la cuenca alta del Río Lempa en la Región del Plan Trifinio. Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) El Salvador	Sistema modular de capacitación en Gestión de Riesgo, Guía para la Gestión Local del Riesgo por Deslizamientos, Caracterización de subcuencas en base al Análisis de Riesgo y Sistema de alerta multiamenazas.
	Programa Regional para la Mitigación de Desastres REMIDE, dentro de la unidad de emergencias y prevención de desastres. Catholic Relief Service	Fortalecer la capacidad en 319 comunidades vulnerables para reducir el impacto de futuros desastres por medio de la capacitación, la formación de Comités Locales de Acción de Emergencia, la elaboración de planes comunitarios de acción para responder a las emergencias y la instalación de 25 sistemas de señalización de rutas de evacuación.

(Continúa)

(Continuación Cuadro 11.2)

Guatemala	Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, Programa Nacional de Cambio Climático, MARN	<p>En la Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático se identificaron los principales cuatro sectores o sistemas humanos donde los impactos de la variabilidad y el cambio climático serían mayores. Los criterios de selección incluyeron la afectación de la salud humana, el bienestar social, el ambiente natural y la economía nacional.</p> <p>De esta forma los sectores priorizados fueron: la salud humana, agricultura (producción de granos básicos), recursos hídricos y en los recursos forestales.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de Granos Básicos. El maíz, frijol, trigo, arroz y sorgo revisten una importancia especial en Guatemala debido a sus implicaciones culturales, socioeconómicas y alimenticias de una gran mayoría de la población guatemalteca.</li> <li>• Recursos Hídricos. Las variaciones climáticas alteran los componentes del ciclo hidrológico y los parámetros climáticos. Las variaciones en la evapotranspiración y precipitación cambian la escorrentía superficial y subterránea aumentando o disminuyendo los niveles de cuerpos de agua como los ríos, lagos y mares.</li> <li>• Recursos Forestales. La distribución geográfica de los bosques, su composición, sus características y su productividad están determinadas en forma natural por las condiciones del clima global y local.</li> </ul>
	Proyecto Desarrollo de Capacidades para la Fase II de Adaptación al Cambio Climático en Centro América, México y Cuba (RLA) Programa Nacional de Cambio Climático del MARN	En el marco de este proyecto se elaboraron estudios de vulnerabilidad actual, vulnerabilidad futura e identificación de medidas de adaptación al cambio climático. Las actividades se desarrollaron en dos cuencas del país; una en el occidente donde se analizaron los problemas provocados por el exceso de agua (inundaciones) y en el oriente donde estudiaron los impactos negativos del déficit de agua (sequía).
	Proyecto Estudios de Cambio Climático con Énfasis en Adaptación, Programa Nacional de Cambio Climático del MARN, Gobierno de los Países Bajos	Las actividades del proyecto se dirigieron a la adopción y calibración de herramientas para evaluar el comportamiento de los recursos hídricos al cambio climático. De esta forma, se trabajó con el modelo <i>Water Evaluation and Planning System</i> (WEAP, por sus siglas en inglés) para las dos cuencas ya estudiadas en el proyecto anterior.
	Proyecto Cooperación Técnica para Cambio Climático, Programa Nacional de Cambio Climático del MARN, BID	El objetivo general de este programa es apoyar al gobierno de Guatemala en la preparación, seguimiento, fortalecimiento y monitoreo de la agenda y de la Política Nacional de Cambio Climático. Los componentes del proyecto incluyen: (i) Fortalecimiento Institucional (ii) Adaptación (iii) Mitigación. Este proyecto está en gestión.
	Proyecto Canje de Deuda para Cambio Climático con énfasis en Adaptación, Programa Nacional de Cambio Climático del MARN, KfW Alemania	El objetivo general del proyecto (en gestión) es que las comunidades beneficiarias realicen prácticas, ambiental y culturalmente adecuadas, para el uso y conservación de los bienes y servicios naturales, que les permitan reducir su vulnerabilidad y mejorar su adaptación al cambio climático, con énfasis en seguridad alimentaria. Se espera que el proyecto coadyuve a la implementación de la Política Nacional de Cambio Climático a través de la adopción de prácticas de prevención de riesgo, reducción de la vulnerabilidad y mejora de la adaptación al cambio climático. Los alcances del proyecto consideran la contribución a la mejora de la calidad de vida de la población y al establecimiento de mecanismos financieros que apoyen la perdurabilidad de dicha política en el mediano plazo.

(continúa)

(Continuación Cuadro 11.2)

Guatemala	Proyecto Evaluación de Necesidades Tecnológicas para Cambio Climático ( <i>Technology Needs Assessment</i> ), Programa Nacional de Cambio Climático del MARN, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)	El propósito del proyecto es ayudar al país en la identificación y priorización de sus necesidades de transferencia y desarrollo de tecnologías específicas para la gestión de riesgo, reducción de vulnerabilidad y mejoramiento de la adaptación al cambio climático. También se incluye el desarrollo de tecnologías para la mitigación al cambio climático.
	Proyecto Regional de “Bosques y Cambio Climático en América Central”, FAO	Reforzar la capacidad de los países de la región para que su sector forestal reciba los beneficios del régimen internacional del cambio climático, tanto en materia de mitigación como de adaptación a los impactos del cambio climático.
	Proyecto Trinacional Corredor del Mangle, SERNA	Contribuir al desarrollo sostenible de la región Centroamericana fortaleciendo la cooperación transfronteriza, colaborando en la reducción de la pobreza y la conservación de la biodiversidad biológica.
	Estudio de Vulnerabilidad y la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático y Plan de Acción para la Cuenca del Río Aguan en Honduras, PNUD, SERNA	Forma parte del proyecto “Fomento de las Capacidades para la Etapa II: Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba”, el objetivo de la estrategia es el de fortalecer la capacidad de adaptación de los pobladores de la cuenca del Río Aguan para reducir la vulnerabilidad a los impactos del cambio climático.
Honduras	Desarrollo de las capacidades locales y de los medios de vida para la autogestión de las áreas protegidas del Golfo de Fonseca, Honduras, Amigos de la Tierra	Desarrollar y mejorar las capacidades locales y medios de vida de los pobladores mejorando la gestión y utilización de las áreas protegidas del Golfo de Fonseca.
	Proyecto de Mitigación de Desastres, Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)	Fortalecer la capacidad de los municipios para reducir los riesgos y la vulnerabilidad frente a los desastres naturales.
	Proyecto Hidroeléctrico Cuyamapa	Disminuir el uso de combustibles fósiles y promover el desarrollo sustentable comunitario y ambiental de la zona.
	El proyecto Hidroeléctrico La Esperanza	Ofrecer a las comunidades más vulnerables de los países en desarrollo, y especialmente de los países más pobres, la oportunidad de beneficiarse de nuevas inversiones en energía renovable y tecnologías no contaminantes orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar los efectos del cambio climático, a la vez que se generan mejoras cuantificables en el bienestar de las comunidades involucradas.
	Disminución de la extracción legal de especies maderables con fines comerciales en la reserva del Río Plátano en Honduras; Generación de alternativas de uso sostenible de productos maderables y no maderables del bosque, UICN	Disminuir la extracción ilegal e insostenible de las especies maderables, no maderables y de la fauna silvestre, respetando la zonificación del la Reserva del Río Plátano.
	Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático: Estudio “Impacto del cambio climático en los ecosistemas de las sub-cuencas de los Ríos Guacerique y Grande, y en el abastecimiento de agua potable para Tegucigalpa” TroFCCA-Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA)	La evaluación biofísica presente y futura, de los ecosistemas forestales de las sub-cuencas del Río Guacerique y Río Grande, para la producción de agua a la población de Tegucigalpa y Comayagüela, y las comunidades ubicadas en la parte alta de las mismas.

(Continúa)

(Continuación Cuadro 11.2)

Honduras	Sistema Agroforestal Quesungual, FAO, Programa Estratégico para la Seguridad Alimentaria (PESA) y Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG)	Es un sistema ideado por la FAO en Honduras con el objetivo de lograr la regeneración del ecosistema de bosques tropicales secos, mediante la combinación de cultivos de granos, árboles y arbustos que se regeneran naturalmente, y árboles frutales y madereros del alto valor y para múltiples propósitos.
	Primera Comunicación Nacional de Honduras ante la CMNUCC, Programa Nacional de Cambio Climático, SERNA	Informar ante la CMNUCC sobre los resultados del Inventario por Fuentes y Sumideros de Gases de Efecto de Invernadero y la Estrategia Nacional de Reducción de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, asimismo presentar de forma preliminar la Vulnerabilidad de Honduras al Cambio Climático que incluye los resultados del estudio sobre los Escenarios Climáticos, y esboza la Vulnerabilidad de los Recursos Hídricos al Cambio Climático y la Vulnerabilidad de la Costa Caribe de Honduras a la elevación del nivel del mar.
	Segunda Comunicación Nacional de Honduras ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Dirección Nacional de Cambio Climático, SERNA	Fortalecer las capacidades nacionales para la elaboración del Inventario Nacional de Gases a Efecto Invernadero (INGEI), así como en la preparación de medidas de mitigación y adaptación y su inserción en las políticas nacionales. Buscar el intercambio de información en el ámbito regional e internacional, así como en los foros de investigación sobre cambio climático, que permitan al país implementar estrategias encaminadas a lograr la participación de Honduras en procesos de negociación o foros sobre cambio climático.
	Fortalecimiento de capacidades de los encargados de la formulación de políticas para hacer frente al Cambio Climático, Dirección Nacional de Cambio Climático, SERNA.	Evaluar la inversión y los flujos financieros para hacer frente a cambio climático para los sectores priorizados: transporte, recursos hídricos y cambio y uso de la tierra y silvicultura. Promoviendo la aplicación amplia y efectiva de estrategias para adaptación en el sector recursos hídricos y de mitigación en los demás sectores priorizados al cambio climático en Honduras.
	Enfrentando riesgos climáticos en recursos hídricos en Honduras: Incrementando resiliencia y disminuyendo vulnerabilidades en áreas urbanas pobres, Dirección Nacional de Cambio Climático, SERNA	Incrementar la resiliencia de la población más vulnerable en Honduras ante los riesgos climáticos de carácter hidrometeorológico a través de una intervención integral de transversalización del cambio climático en el sector agua y la implementación de actividades pilotos.
	Evaluación de Vulnerabilidad en Comunidades de Honduras e identificación de necesidades de adaptación en las comunidades isleñas de Punta Gorda, Sandy Bay, Utila, Chachahuat y East End, UK Department for International Development (DFID) y World Wildlife Fund (WWF), WWF Centroamérica, SERNA, Cay Conservation Project (CORAL)	Se llevó a cabo una evaluación de vulnerabilidad en cinco comunidades de las Islas de la Bahía de Honduras. Debido a su ubicación geográfica, proximidad con la línea de marea alta y su altitud sobre el nivel del mar estas comunidades comparten, en cierta medida, la misma vulnerabilidad a factores de cambio climático.
	Otras iniciativas a nivel local desarrolladas por Organizaciones No Gubernamentales miembros de la Federación de Organizaciones No Gubernamentales para el Desarrollo de Honduras (FOPRIDEH) en coordinación con algunas instituciones públicas: Plan Internacional, Fundación Mirador en Occidente, CARE, Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) y Entrenamiento y Desarrollo de Agricultores (EDA), Programa Nacional de Desarrollo Rural Sostenible (PRONADERS), Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), Fondo Hondureño de Inversión Social (FHIS), SANAA, Save the Children, Consultoría para el Desarrollo Integral de Honduras (CDIH) y RETE, Instituto Hondureño de Desarrollo Rural, FOPRIDE, Foro Inter Parlamentario de las Américas (FIPA), Asociación Cristiana de Jóvenes (ACJ), Centro Asesor para el Desarrollo del Recurso Humano (CADERH-DION) y educatodos, Financia Salvanatura, Fundación Panthera, Parque Nacional Cerro Azul Meambar (PANACAM), Consejo Hondureño de Ciencia y Tecnología (COHCIT), Asociación Hondureña de Productores de Café (AHPROCAFE), Instituto Hondureño de Café (IHCAFE), ICF, Instituto Nacional de Formación Profesional (INFOP)	Estos proyectos se enfocan en diversos sectores como los de: Bosque y biodiversidad: estufas ecológicas de bajo consumo de madera, monitoreo de fauna, educación ambiental en escuelas, apoyo a las comunidades productoras de café, capacitación sobre legislación ambiental. Agricultura: construcción de sistemas de micro riego, tecnificación y diversificación de cultivos, proyecto de jóvenes con derechos a un futuro, proyecto de seguridad alimentaria. Recursos hídricos: planes de manejo de micro cuencas, capacitación/giras educativas sobre agua y lluvia, reforestación construcción de sistema de agua potable y saneamiento, de obras físicas de filtración, de sistemas de abastecimiento de agua, protección de micro cuencas etc.

(Continúa)



(Continuación Cuadro 11.2)

Nicaragua	Proyecto de Gestión de Cuencas y Cambio Climático, MARENA-BID-Fondos Nórdicos	Mejorar las condiciones socioeconómicas de la población en cuencas seleccionadas, a través del desarrollo de capacidades de adaptación y mitigación para los sistemas humanos y ecosistemas vulnerables, a mediano y largo plazo, frente al cambio climático y eventos extremos asociados a través del establecimiento de sistemas agroforestales y silvopastoriles, de reforestación energética y maderable, de construcción de infraestructura de prevención y mitigación de desastres en las subcuencas de Río Viejo y Lago de Apanás, de la elaboración de planes de adaptación ante el cambio climático y capacitando y sensibilizando a la población beneficiaria en el tema de cambio climático para desarrollar capacidades.
	Cambio Climático, Cruz Roja Nicaragüense	Adquirir conocimientos y herramientas para comprender las causas y consecuencias de este fenómeno a nivel global y local. Instituciones participantes del Departamento de Madriz y Nueva Segovia.
	Cambio climático y preparación contra desastres en Nicaragua, Cruz Roja Nicaragüense, Cruz Roja Holandesa	Disminuir la vulnerabilidad de los habitantes de Bluefields (El Bluff) y Puerto Cabezas, Nicaragua con respecto a desastres relacionados (fortaleciendo las capacidades locales.
	Proyecto Integral de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Agua y Saneamiento (PIMCHAS), Agencia Canadiense de Cooperación Internacional (ACDI), MARENA	Desarrollar capacidades, herramientas y condiciones locales para la gestión integrada, el desarrollo económico de la población que vive en las subcuencas de intervención y el mejor manejo de las cuencas y del medio ambiente desarrollando producción sostenible y provisión de agua y saneamiento, con eje transversal de igualdad de género.
	Programa Sectorial de Cambio Climático /GIZ –MARENA – Dirección General del Cambio Climático (DGCC)	Elaborar Estrategias Locales de Adaptación al Cambio Climático (ELACC).
	Proyecto de adaptación Cuenca 64/ MARENA y PNUD	Promover el desarrollo sustentable de sectores económicos (agropecuarios, forestales y otros) para la protección de fuentes de agua y reduciendo la contaminación y la pobreza.
	Programa de Reducción de Riesgos y Vulnerabilidad ante inundaciones y sequías en la cuenca del Río Estero Real (Cuenca 60). MARENA, GEF, PNUD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir los riesgos de sequías e inundación generados por el cambio climático y la variabilidad en la Cuenca del Río Estero Real en 8 microcuencas priorizadas de los municipios de El Sauce y Achuapa, en León y Villanueva, en Chinandega; beneficiando en total a 2 000 familias de productores y productoras de estas microcuencas con inversión en infraestructura para la retención y uso de aguas pluviales y superficiales, prácticas agro-ecológicas para hacer uso efectivo del agua disponible.</li> <li>• Validar un esquema de adaptación como medio de implementación de la estrategia nacional de cambio climático.</li> <li>• Realizar monitoreo y análisis continuo de condiciones climáticas y cambios en el uso de la tierra, los caudales de agua y la calidad de los suelos en las micro-cuencas pilotos.</li> </ul>
	Programa Socio-ambiental de Desarrollo Forestal (POSAF), NI – 1084	Mejorar las condiciones socioeconómicas y la calidad de vida de la población, así como la disminución del deterioro ambiental y del impacto de desastres naturales en cuencas prioritarias.

(Continúa)

(Continuación Cuadro 11.2)

Nicaragua	Proyecto Programa Sectorial del Medio Ambiente II (PASMA II)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaborar 10 planes municipales de adaptación al cambio climático en el marco de la Estrategia Nacional de Cambio Climático en los municipios de El Jicaral, León, La Paz Centro, San Francisco Libre, San Lorenzo, Ciudad Darío, San Isidro, Matagalpa, La Trinidad, Estelí.</li> <li>Fortalecer instituciones relacionadas con la temática del Cambio Climático a través de capacitar en el tema escenarios climáticos entre otros.</li> </ul>
	Manejo Sostenible de la Tierra, MARENA -PNUD	Establecer sistemas productivos en zonas propensas a sequías.
Panamá	Fomento de Capacidades para la Fase II de Adaptación al Cambio Climático en la cuenca del Río Santa María, Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), CATHALAC	Implementar una agenda permanente de fomento de capacidades en Cambio Climático y Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas a nivel de América Latina y el Caribe, por medio de cursos regionales y nacionales de entrenamiento, seminarios, conferencias y talleres. Desarrollar cursos de entrenamiento, seminarios, conferencias y talleres a nivel regional en los temas reaccionados con manejo y uso racional de los recursos naturales, los impactos biofísicos del cambio climático en la en América Latina y el Caribe. Apoyar continuamente la identificación necesidades nacionales y regionales de capacitación.  Además de validar la metodología del Marco de Políticas de Adaptación'', Metodología desarrollada por el PNUD-GEF.
	Conservación de Ecosistemas, Cambio Climático y Desertificación: Río Chiriquí Viejo; Río Grande; Río Parita; Río Santa María, Unidad de Cambio Climático, ANAM, GEF	Promover, mitigar, compensar y controlar la desertificación en las zonas propuestas con la puesta en práctica del manejo sostenible en el uso del suelo, procurando restaurar ecosistemas a su integridad completa, estabilidad y sus funciones dentro del contexto regional. Eliminar las barreras que impiden la adopción de la modalidad de manejo sostenible del suelo, dentro de las regiones objetivos del proyecto. Este proyecto aborda transversalmente los ejes detonantes de la pobreza. Por medio de capacitaciones en las áreas de biodiversidad, cambio climático y recursos hídricos, se pretende brindar las herramientas para mejorar el conocimiento y las tomas de decisiones sobre el manejo y explotación de los recursos naturales.
	Sistemas de Cosecha de Agua de Lluvia para la adaptación al cambio climático	Construcción de sistemas de recolección de agua de lluvia en comunidades con dificultades de abastecimiento, el proyecto ya se ha ejecutado en la Comarca Ngabe Bugle este año se ejecutará en la provincias de Herrera, Los Santos y Coclé.
	Incorporación de medidas de Adaptación y Mitigación de Cambio Climático en la Gestión Integrada de Recursos Naturales en dos cuencas prioritarias de Panamá (Tabasará y Chucunaque). PNUD, PNUMA, FAO, Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS) y cuatro instituciones gubernamentales: Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), Ministerio de Salud (MINSA), Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), ANAM	Este proyecto busca la implementación de medidas de adaptación y mitigación del cambio climático desde un abordaje conjunto, promoviendo la adaptación integral, además de que el mismo está orientado a dar respuesta a los compromisos dentro del marco de los objetivos del milenio.

(Continúa)

(Continuación Cuadro 11.2)

**BELICE:**

Belice ha participado en varios proyectos relacionados al cambio climático. Estos proyectos incluyen el establecimiento de un Sistema Comunitario de Alerta Temprana de Inundaciones (FEWS) para cuencas pequeñas seleccionadas en los ocho países miembros del SICA. La Cruz Roja de Belice participó en un proyecto de desarrollo de capacidades con el objetivo de brindar las herramientas y consejos técnicos a la Federación y las Sociedades Nacionales de Cruz Roja con el objetivo de canalizar el tema del cambio climático en su planeación y actividades. También se desarrolló un plan de adaptación para comunidades bajo el fondo *Ya'axche Conservation* "Aplicación del enfoque de medios de vida al cambio climático" cuyo objetivo era aumentar la capacidad de adaptación de las comunidades del Sur de Toledo. El gobierno de Belice emprenderá un proyecto para aumentar la capacidad de adaptación y resiliencia al cambio climático en políticas nacionales, incluyendo el sector de recursos hídricos.

Belice es sede del Centro de Cambio Climático de la Comunidad Caribeña (CCCCC) el cual provee indicaciones y consejos a los países miembros de la Comunidad Caribeña (CARICOM) sobre las políticas relacionadas con el cambio climático. El centro también analiza el impacto de la variabilidad climática en el desarrollo humano y económico así como en los ecosistemas.

Fuente: Elaboración propia con insumos de los ministerios de Ambiente de Centroamérica; UICN y FLACSO, 2008; CEPAL y DFID, 2009.

A partir de la revisión de estos proyectos es posible hacer una caracterización inicial del enfoque sobre adaptación al cambio climático en Centroamérica. Los proyectos pueden ser agrupados en tres grandes bloques. Un primer bloque, donde se ubica la mayor parte incluye temas tradicionalmente asociados a la gestión de riesgo y de intervención indirecta como:

- Programas de capacitación,
- Desarrollo de metodologías,
- Diseño de estrategias de intervención,
- Desarrollo de instrumentos de planificación territorial,
- Fomento de capacidades institucionales y comunitarias para la evaluación de la vulnerabilidad e impactos, y la adaptación al cambio climático en varios sectores (sistema hídrico, gestión forestal, biodiversidad, etc.).

Un segundo bloque agrupa proyectos de intervención directa:

- Mejoramiento de prácticas comunitarias en gestión ambiental,
- Restablecimiento de bases productivas agropecuario-forestales post huracán Stan,
- Mejoramiento de medios de vida, desarrollo de agricultura orgánica (proyectos productivos) y adaptación de agricultores de subsistencia,
- Seguridad alimentaria,
- Mejoramiento de infraestructura hídrica y gobernabilidad local del agua.

Estos proyectos han sido concebidos en primera instancia como intervenciones directas en problemáticas particulares, buscando revertir condiciones adversas de formas de producción, prácticas nocivas contra el ambiente, agricultura vulnerable y déficit en infraestructura. El enfoque es novedoso, aunque los proyectos tendrían que ser revisados con mayor detenimiento y esperar sus resultados.

El tercer bloque incluye proyectos de gran envergadura con una visión amplia del problema, como son el proyecto binacional en la cuenca del río Sixaola (Costa Rica y Panamá); el proyecto sobre

gestión de cuencas y cambio climático en Nicaragua; y el proyecto sobre conservación de ecosistemas, cambio climático y desertificación en Panamá. Salvo contadas excepciones, todos los proyectos tienen un enfoque local; algunos de ellos tienen enfoque de cuenca y otros tienen enfoque comunitario.

Muchas de las acciones adaptativas serán extensiones de buenas prácticas de desarrollo, tales como la promoción del crecimiento y la diversificación económica, la inversión en servicios de salud y educación, la ampliación de las redes de protección social, el fortalecimiento de la resiliencia a eventos extremos, las medidas para compartir riesgos, la protección del capital natural y el desarrollo sostenible. La acumulación de vulnerabilidades históricas y sus implicaciones para la adaptación ha llevado a expertos como Sir Nicholas Stern a plantear que el cálculo del esfuerzo y del costo necesarios para adaptarse al cambio climático no se puede ni se debe separar de esa deuda de vulnerabilidad acumulada (Stern, 2008a). Respecto a la adaptación, el Informe Stern advierte que existen límites ante lo que las medidas de adaptación podrían lograr frente a los impactos del cambio climático en los ecosistemas ecológicos y humanos. Sin un esfuerzo temprano y significativo de mitigación, estos límites y sus costos crecerán rápidamente. El informe recomienda que la adaptación reduzca los impactos negativos y aproveche todas las oportunidades, pero admite que, aún así, habrá daños y pérdidas significativas no recuperables.

El Fondo de Adaptación del CMNUCC, financiado con el 2% de los certificados de reducciones de emisiones (CERs) emitidos por proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), empezó a aprobar proyectos en el año 2010. Entre los primeros aprobados se encuentra el de Honduras, cuya finalidad es mejorar el marco de políticas nacionales y reducir la vulnerabilidad de la población urbana pobre frente al impacto del cambio climático en los recursos hídricos, particularmente en la cuenca del Río Choluteca que cruza la ciudad de Tegucigalpa. Este proyecto sería implementado por SERNA con PNUD (SERNA y PNUD, 2009).

## II. 4 OPCIONES DE POLÍTICAS ENFOCADAS A LA ADAPTACIÓN

En función de las investigaciones realizadas en el marco de este proyecto, las realizadas con anterioridad y las discusiones sobre los resultados entre los socios de esta iniciativa, se puede presentar una propuesta inicial de políticas enfocadas a la adaptación frente a eventos extremos, recursos hídricos, producción agropecuaria, seguridad alimentaria, pobreza, tecnología e innovación, ecosistemas y política fiscal.

### REDUCIR EL IMPACTO DE LOS EVENTOS EXTREMOS

Por su ubicación geoclimática, Centroamérica no podrá evitar ser afectado por eventos extremos. Los escenarios futuros con cambio climático sugieren que estos eventos se van a intensificar. El reto entonces es prevenir y reducir los riesgos y el impacto. Como se reporta en el capítulo 7, la región ha experimentado un incremento sostenido de los eventos extremos a partir de la década de los años sesenta. Las inundaciones y las tormentas han aumentado de manera sostenida. Los deslizamientos y las temperaturas extremas comenzaron a manifestar una tendencia creciente en los años recientes, mientras que las sequías y los incendios forestales han repuntado con fuerza a partir de los años noventa.

La organización *German Watch* ha establecido un índice de riesgo climático global que pondera la medida en que los países han sido impactados por eventos climáticos (tormentas, inundaciones, sequías, etc.). El rango 1 pertenece al país más vulnerable del mundo. Los datos muestran que Honduras es el país con el índice más bajo entre los años 1995 y 2007 y Nicaragua ocupa entre el segundo y el quinto lugar, dependiendo de los cortes de tiempo (Harmeling, 2007).

Se han podido identificar zonas de riesgo en Centroamérica para diferentes tipos de eventos extremos. Los ciclones tropicales afectan directamente a casi la totalidad de la costa atlántica, la totalidad del territorio beliceño, una importante extensión de los territorios de Honduras y Nicaragua, así como la parte norte de Costa Rica, sin minimizar los impactos de los huracanes del Caribe en las zonas del Pacífico en la forma de lluvias intensas de humedad atraída de este océano. Los patrones de mayor riesgo de inundaciones se presentan en las riveras de los ríos, las zonas bajas y las zonas costeras. Los deslizamientos causados por precipitaciones parecen tener mayor importancia de la que normalmente se les asigna, pues más del 80% del territorio centroamericano está expuesto a ellos, y coinciden con las zonas deforestadas o en proceso de deforestación.

Prácticamente no existe área de Centroamérica que en los últimos 30 años no haya sufrido sequías. La mayor concentración de estos eventos entre 1974 y 2004 se registra en Guatemala, Honduras, Nicaragua, la costa pacífica de Costa Rica y la costa atlántica de Panamá. Hay un corredor de zonas severamente afectadas por la sequía en la vertiente del Pacífico que cruza todos los países y tiene alta vulnerabilidad. Las sequías se asocian a procesos de degradación ambiental, los que, combinados con condiciones climáticas adversas, incrementan su recurrencia y severidad. El fenómeno El Niño causa daños y pérdidas considerables en todos los países centroamericanos, los cuales podrían aumentar a corto plazo por los efectos del cambio climático pronosticado en los escenarios analizados.

Las estimaciones de los impactos en el PIB de países relativamente pequeños en el año de ocurrencia del evento se ubican en el rango de 3% (El Niño en Centroamérica) a 7% (el huracán Mitch en Honduras). En el caso de regiones específicas de los países, los impactos en la economía local pueden alcanzar hasta 25% de su PIB a corto plazo, según estimaciones. Estudios recientes sugieren que los impactos en las economías locales pueden ser de 10% en países más grandes, más desarrollados y diversificados y hasta de 50% en países pequeños, menos desarrollados, menos diversificados y más dependientes de sus recursos naturales (Zapata, 2004).

Según evaluaciones de once eventos extremos en la región, poco más de la mitad de las pérdidas económicas registradas entre 1974 y 2007 corresponden a los sectores productivos (el agropecuario concentra casi tres cuartas partes del total), mientras que una cuarta parte se concentra en el sector de infraestructura. Los sectores sociales concentran el 17% de las pérdidas totales y el medio ambiente un 7%. Los estudios sobre el impacto socioeconómico y ambiental de eventos naturales extremos realizados en los países de la región evidencian impactos diferenciados según estratos socioeconómicos y de género.

Los eventos climáticos extremos afectan a los asentamientos urbanos y rurales, cuyas poblaciones pobres presentan la mayor vulnerabilidad. Las desigualdades económicas y de derechos entre grupos sociales se reflejan en el tipo de vivienda y el patrón de asentamiento. Los más pobres no cuentan con los satisfactores básicos o se localizan en zonas de riesgo y sobre suelos inestables, como bordes y lechos de ríos, zonas bajas inundables o de pendientes expuestas a aluviones o lahares. Evitar pérdidas de vidas, daños en los acervos físicos y el debilitamiento de los flujos económicos por efecto de los desastres climatológicos requiere de políticas e instrumentos que regulen el uso de suelo, ordenen la ocupación territorial y apoyen efectivamente la relocalización de poblaciones en riesgo.

El ordenamiento ambiental y urbano del territorio es fundamental para alcanzar el desarrollo sustentable y una distribución geográfica más óptima de la población, de sus actividades y de la riqueza nacional para prevenir daños y pérdidas por eventos extremos. Por ejemplo, el



asentamiento urbano extendido, al obtener energía y materiales, tiende a deteriorar los sistemas de soporte de su cuenca/región. Los asentamientos compactos permiten un ordenamiento urbano de baja ocupación de suelo y, por tanto, preservan la biodiversidad y facilitan la incorporación de una matriz energética baja en carbono, técnicas constructivas que reduzcan el consumo de energía en hogares y transporte y optimicen la infraestructura y equipamiento. Igualmente, existen oportunidades de cobeneficios en la protección o recuperación de ecosistemas y protección de la población contra eventos extremos. Un ejemplo es la recuperación de manglares por su contribución a la pesca y su función de protección contra huracanes.

En relación con la reducción del riesgo, todos los países centroamericanos suscribieron los acuerdos del Marco de Acción de Hyogo en 2005 (ONU, 2005) cuya prioridad es realizar acciones para reducir los factores subyacentes del riesgo, orientadas a la conservación del medio ambiente, el mejoramiento de las condiciones socioeconómicas, la regulación de los asentamientos humanos, la ampliación del acceso a servicios básicos y el mejoramiento de la gobernabilidad.

La sensibilidad de la región a los crecientes impactos de eventos extremos podría incentivar respuestas concretas y la formación de una cultura de la convivencia de la humanidad con la naturaleza, con las consecuentes prácticas socioeconómicas y de uso del territorio. Un reflejo de las dificultades para encarar la vulnerabilidad a los eventos extremos es la propensión a llamar “naturales” a los desastres, a pesar de que sus consecuencias catastróficas están ligadas a la pasividad de algunas sociedades frente a la responsabilidad de prevenir sus impactos y aumentar la resiliencia de la población, de la infraestructura y del ambiente mismo. Una lección derivada de la experiencia con eventos extremos es que las sociedades tienen que prepararse para el cambio climático en un contexto de incertidumbre sobre sus múltiples impactos potenciales. Esto requiere tomar decisiones y medidas de reducción de vulnerabilidades, prevención y sistemas de alerta y respuesta con la mejor información disponible y, al mismo tiempo, generar mayores capacidades de pronóstico a escalas nacionales y locales (Landa, Magaña y Neri, 2008).

## GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO

Centroamérica tiene una condición privilegiada en producción hídrica por su disponibilidad per cápita de aproximadamente 23 mil m<sup>3</sup> por habitante por año en promedio. No obstante, la variación entre los países es muy grande, desde niveles de aproximadamente una décima parte del promedio en El Salvador a más del doble en Belice. La disponibilidad hídrica depende del clima y sus variaciones intra e interanuales. Aproximadamente 70% de la precipitación cae en la vertiente del Caribe y el 30% en la vertiente del Pacífico (A. López, 2009), mientras que la población y la actividad agrícola se concentran en esta última.

Otros elementos a considerar son “el arco seco” (zonas secas y/o de sequías desde el oriente de Guatemala a la península del Azuero en Panamá); la existencia de 23 cuencas compartidas entre dos y hasta tres países; la demanda de poblaciones crecientes y progresivamente concentradas en pocas zonas urbanas; el uso ineficiente del recurso y la deficiente valorización de su aporte a la economía; el bienestar social y los servicios recibidos de los ecosistemas y su contaminación por los vertidos de aguas residuales agrícolas, domésticas e industriales (SICA y CCAD, 2009).

Los resultados iniciales de este estudio indican que, aun sin cambio climático, la demanda de este recurso aumentará por la actividad económica y el crecimiento de la población, particularmente en Guatemala, Costa Rica y Nicaragua. Considerando el cambio climático, se estima una disminución de la disponibilidad total de agua renovable en los cinco países al norte de Costa Rica.

El Salvador enfrenta condiciones de estrés hídrico. Se prevé que con el cambio climático Guatemala, Nicaragua y Honduras lo padecerán en la segunda mitad del siglo. Los costos estimados preliminares del impacto del cambio climático en este sector al año 2100 en el escenario B2 son de 5,4% del PIB de 2008 a Valor Presente Neto (VPN) y con tasa de descuento de 0,5%. En el escenario A2, la cifra correspondiente es 9,8% (véase el cap. 4).

Frente a este escenario futuro, las sociedades centroamericanas pueden dar un paso fundamental de adaptación al cambio climático si se vuelven gestoras atentas y eficientes de sus recursos hídricos, aprovechando las características más favorables de la región frente a las problemáticas compartidas y de algunos países y zonas particulares<sup>3</sup>.

La gestión del recurso hídrico es clave para dar respuesta al cambio climático en producción agrícola y seguridad alimentaria y para la propuesta regional de aumentar la contribución de la hidroelectricidad a la matriz energética, tanto para la seguridad energética como para la reducción de emisiones de GEI. El recurso hídrico es de suma importancia para la protección de los bosques, otros ecosistemas y su biodiversidad, los cuales proporcionan recursos claves a los seres humanos, y en la agenda de desarrollo social y de salud, considerando la meta de dar acceso a agua potable y servicios de sanidad a toda la población. Al mismo tiempo, la conservación de los bosques es esencial para la gestión de las cuencas. Se requieren esfuerzos amplios para hacer más eficiente el uso del agua, reducir su contaminación y reciclarla en los sectores de demanda doméstica, agropecuaria, industrial y de servicios. Si el indicador clave de los esfuerzos de mitigación es la reducción de emisiones CO<sub>2</sub>e, uno de los indicadores claves de la adaptación será la eficiencia del uso del agua per cápita y por unidad del PIB.

Se requerirá identificar tecnologías tradicionales y modernas apropiadas, garantizar su acceso no oneroso, preparar proyectos financiables en un portafolio adecuado a la estrategia y evaluar opciones para utilizar los mecanismos de reducción de emisiones de GEI. Asimismo, habrá que crear un marco de negociación social de proyectos de infraestructura hídrica que supere el bagaje conflictivo del pasado y permita el desarrollo equitativo y sostenible de poblaciones aledañas a las obras y de las zonas de conservación. Estos elementos tienen relación con las negociaciones internacionales sobre cambio climático, incluyendo el financiamiento de la adaptación en países que son emisores menores, el acceso a la tecnología y el financiamiento para la transición a economías bajas en carbono.

Este esfuerzo implica acelerar el proceso actual de modernización de la legislación, la institucionalidad y el marco regulatorio del sector a nivel nacional e implementar la Estrategia y el Plan Centroamericanos para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

## SEGURIDAD Y EFICIENCIA ALIMENTARIA Y PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

El sector agropecuario de la región se ha caracterizado por el alto riesgo de sus actividades por la volatilidad de precios, la inseguridad de la tenencia de la tierra, los eventos extremos, la escasa formación de capital humano, el escaso desarrollo tecnológico, incluyendo actividades de investigación y extensión, y la limitada inversión en infraestructura rural. Esto ha creado baja

---

<sup>3</sup> En la historia de América Latina hay diversos casos de civilizaciones gestoras de sus recursos hídricos. Véase el estudio de caso 6.2 en IPCC, OMM y PNUMA, 2007 y Diamond, 2005.

productividad laboral y por área sembrada, lento crecimiento, limitada inversión productiva, migración y concentración de la población pobre en zonas rurales (CEPAL, 2004c).

Considerando los escenarios de cambio climático, en los que se espera un aumento de la temperatura y una disminución o mayor variación de la precipitación, los efectos netos de largo plazo serán negativos para el sector agropecuario, con importantes variaciones por país y por cultivo. Los efectos negativos aumentarán conforme avance el siglo, especialmente en el escenario A2.

Los resultados de los ejercicios empíricos a nivel regional indican que el cultivo de maíz muestra cierto margen de tolerancia a incrementos de temperatura, cuyos efectos negativos podrían ser compensados con un uso más eficiente de los recursos hídricos. Esta solución, no obstante, será probablemente no viable a mediano plazo. La producción del frijol muestra ya signos de riesgos que serán mucho más graves en un escenario de cambio climático. Este cultivo es el que tendría las mayores pérdidas económicas, seguido por el arroz. La productividad del arroz se mantiene en niveles óptimos en relación con la temperatura y la precipitación. Por ende, hay cierto margen de tolerancia a incrementos de la temperatura de hasta 1,5 °C. Por arriba de este nivel, la producción estaría en riesgo.

La agricultura de Centroamérica es altamente vulnerable a los cambios de temperatura media, incluso a cambios moderados de entre 1,5 °C a 2 °C, lo cual refuerza la importancia de lograr un acuerdo global de reducción de emisiones. El costo acumulado para el sector agropecuario de Centroamérica al año 2100 podría ser de 14% a 19% del PIB de 2008, VPN con tasa de descuento de 0,5% en los escenarios B2 y A2, respectivamente. Considerando la relación con otros sectores de la economía, los efectos en la producción de alimentos procesados, en la economía familiar de pequeños productores y trabajadores agrícolas, en el sector de manufacturas y en el aumento de la importación de productos agropecuarios se traducirían en un aumento de costos aun no estimado pero considerable para la región en conjunto.

Más allá de la estimación del impacto económico que estos análisis arrojan, está el hecho de que el maíz, el frijol y el arroz son fundamentales como fuentes de calorías y proteínas de grandes porciones de la población centroamericana. En particular, preocupa la amenaza a la producción de frijol, el cual, combinado con el maíz y el arroz, es fuente de proteína de buena calidad para poblaciones con escaso acceso a alimentos de proteína animal. Según el país y el grano, existe una importante producción de autoconsumo de pequeños agricultores de bajos ingresos. El efecto del cambio climático sobre las actividades agropecuarias tendrá un impacto significativo en la seguridad alimentaria al reducir la producción de alimentos y el acceso directo a ellos por los productores rurales, más un aumento de los precios y/o escasez para los consumidores, dependiendo de las posibilidades de importaciones compensatorias. Las implicaciones, entonces, son serias para la seguridad alimentaria y la pobreza.

En el sector agropecuario es fácil responder con medidas insostenibles a mediano plazo, así que la reducción de rendimientos podría generar mayor presión sobre los bosques y otros ecosistemas naturales al convertirlos a producción agrícola. La utilización de mayores cantidades de agua para riego podría resultar insostenible sin una gestión integral y eficiente del recurso.

Siendo un sector clave para la seguridad alimentaria por albergar una buena parte de la población rural pobre y por su contribución a la economía, el desarrollo de una estrategia de adaptación agrícola sustentable al cambio climático es esencial. Esta estrategia se beneficiará de esfuerzos de coordinación con las que se pudieran desarrollar en recursos hídricos, bosques y

ecosistemas y de reducción de pobreza, especialmente en áreas rurales. Igualmente, la seguridad alimentaria puede ser una meta más alcanzable si se aborda a nivel centroamericano, no solo a nivel de cada país.

## REDUCIR LA POBREZA Y LA DESIGUALDAD Y PROMOVER PATRONES DE CONSUMO SOSTENIBLES

La desigualdad y la pobreza se explican en gran parte por el funcionamiento de los mercados de trabajo, por la cantidad y calidad de los empleos, las capacidades laborales y la heterogeneidad del aparato productivo, factores que determinan el bienestar de la mayoría de los hogares y la cohesión social. También influyen las brechas entre ingresos laborales y acceso a la protección social de los diferentes grupos de la fuerza de trabajo. La hoja de ruta recomendada por CEPAL incluye reforzar la formación profesional y capacitación inicial y continua de los trabajadores, acordar pactos laborales y ampliar los espacios de negociación colectiva para mejorar el potencial distributivo del salario mínimo, regular condiciones de subcontratación y trabajo a domicilio, mitigar la vulnerabilidad de los trabajadores informales y crear mecanismos de protección al desempleo. La respuesta a los impactos socioeconómicos del cambio climático, sobre todo en la mitad de la población que vive en pobreza, debe tomar en cuenta opciones de transformación productiva con equidad (CEPAL, 2010g).

Se recomienda redoblar esfuerzos de extensión de la cobertura y calidad de la educación, considerando su importancia para reducir la desigualdad entre generaciones, y responder al cambiante escenario del mercado laboral y a opciones de generación de ingresos. El necesario refuerzo de la formación profesional y capacitación tendrá que considerar que la posible transformación de la economía global en una economía baja en carbono tendrá implicaciones para sectores y productos futuros “ascendentes” y el perfil del empleo. La respuesta de adaptación requiere un amplio esfuerzo de educar a toda la población sobre el cambio climático, patrones de vida sostenibles y derechos relacionados con protección del ambiente.

Las limitaciones de cobertura y calidad de los servicios de salud para la población en situación de pobreza, así como la reducción del acceso a agua, alimentos e ingresos, y cambios en patrones de enfermedades por el cambio climático, podrían provocar un debilitamiento serio del estado de salud de esas poblaciones. La extensión y adaptación de servicios de salud de calidad mediante el sistema formal y las redes de salud comunitaria son un frente importante de trabajo. Habrá sinergia con otras respuestas de adaptación como la mejora del acceso al agua –pese a la reducción o mayor variabilidad de precipitación–, la protección de la seguridad alimentaria y medidas de mitigación como reducir el uso de hidrocarburos, aumentar el uso de estufas mejoradas y ampliar el acceso a electricidad generada con recursos renovables.

Los habitantes pobres de Centroamérica tienen acceso limitado a la seguridad social y a seguros económicos, los cuales podrían amortiguar las disparidades económicas. El reducido gasto social por habitante—relativamente más alto en Panamá y Costa Rica— limita la resiliencia y las capacidades de adaptación. En años recientes se han implementado diversos programas de transferencias condicionadas a familias pobres en varios países para complementar el ingreso e incentivar el uso de servicios de salud y educación. Las líneas de políticas de las últimas décadas en América Latina, conocidas como “reformas de las reformas”, incluyen las siguientes:

- Transferencias directas de ingreso a la población más pobre, financiadas por fondos de rentas generales y basadas en los principios de derechos de ciudadanía.
- Redes de protección social y activación de capacidades y capital social.
- Pilares estatales no contributivos o subsidios a las contribuciones de los sistemas de seguro social y salud.
- Medidas proactivas del Estado frente a desigualdades y externalidades generadas por la descentralización y delegación de servicios a proveedores privados, más nuevas acciones en el trabajo del cuidado y la perspectiva de género (CEPAL, 2010a).

No obstante, los problemas a mediano plazo plantean la necesidad de establecer una red de protección social no limitada a los trabajadores del mercado laboral formal y programas focalizados, sino concebida como “la acción colectiva de proteger a la población de diferentes riesgos, la cual resulta de la imperiosa necesidad de neutralizar o reducir el impacto sobre los individuos, las familias, las comunidades y las sociedades en general, ante determinados riesgos, como son la enfermedad, la vejez, la invalidez, el desempleo, y otros.” (CEPAL, 2005a). Los hogares en pobreza y vulnerabilidad tienden a descapitalizarse al enfrentar adversidades como las enfermedades catastróficas y choques externos como los eventos extremos, las crisis financieras y probablemente cada vez más los impactos del cambio climático. “Existen buenas razones (prácticas y éticas) para defender un sistema básico de ingresos parciales garantizados, cautelando la responsabilidad fiscal y evitando incentivos perversos” (véanse los ejercicios de simulación de costos, CEPAL, 2010g).

Algunas medidas para reducir las emisiones de GEI podrían beneficiar a las poblaciones en situación de pobreza si así se diseñan, como la ampliación de servicios de transporte público, programas de eficiencia energética en alumbrado doméstico y electrodomésticos, acceso a la energía eléctrica, incluyendo la generada por hidroeléctricas de pequeña escala o por paneles solares. De esta forma se podrán crear sinergias entre los programas de combate a la pobreza y las acciones de adaptación y mitigación del cambio climático. El IPCC y el Informe Stern consideran probable que las emisiones per cápita de las poblaciones que viven en pobreza tendrían que aumentar al menos a mediano plazo para mejorar su calidad de vida, aún en un marco de desarrollo sostenible.

Es igualmente probable que las emisiones per cápita de las clases medias y altas de Centroamérica se acerquen a las de los países desarrollados. Se recomienda crear incentivos económicos y sociales para cambiar sus patrones de consumo, aprovechando las experiencias de otros países. En este campo, la educación de consumidores puede incluir acciones de entidades públicas y sociales y de empresas privadas ya comprometidas con economías bajas en carbono. Esto ayudaría no sólo a bajar las emisiones nocivas, sino que establecería una nueva meta social de progreso y buena calidad de vida.

Sin idealizar la situación de las poblaciones pobres de la región, incluyendo campesinos e indígenas, es importante reconocer que sus conocimientos, prácticas, cosmovisiones, estilos de vida y especies utilizadas y domesticadas forman un acervo importante, aunque subvalorado, para enfrentar el cambio climático y transitar hacia el desarrollo sostenible. Es importante realizar mayores esfuerzos para integrar, valorizar y reconocer estos acervos y las poblaciones que los mantienen. Finalmente, las medidas de adaptación tendrán que realizarse considerando condiciones



y capacidades locales, por lo que será necesario un extenso esfuerzo de educación y participación de las poblaciones.

### FORTALECER LOS SISTEMAS DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍA

En las negociaciones internacionales, el tema del acceso a la tecnología necesaria para la adaptación es de suma importancia para los países en vías de desarrollo. Los estudios sectoriales y las discusiones sobre opciones de adaptación (y reducción de emisiones) a menudo hacen referencia a la necesidad de esfuerzos de innovación, cambio tecnológico y divulgación de información científica y tecnológica.

Es útil enmarcar la respuesta tecnológica al cambio climático en la discusión sobre la estrategia de desarrollo nacional: qué sectores apoyar y cómo reducir las brechas de productividad externa e interna. Dentro de los países existen elevadas diferencias de productividad y desarrollo tecnológico entre sectores y entre actores económicos, lo cual agudiza la desigualdad social. La brecha externa es el rezago de las capacidades tecnológicas de la región en perspectiva internacional. CEPAL ha propuesto una estrategia para incentivar la transformación productiva, apostando por sectores productivos seleccionados según la potencialidad de innovación de cada país; promover la creación y diseminación tecnológica en perspectiva internacional y apoyar explícitamente a las pymes. Esta estrategia requiere la acción del Estado, una robusta banca de desarrollo, inversión pública en investigación y desarrollo e infraestructura, y coordinación entre el Estado y agentes privados. En el contexto del cambio climático, esta coordinación incluye impulsar sistemas productivos que aumenten la eficiencia energética, transiten a fuentes renovables de energía y reduzcan emisiones de GEI y otros contaminantes (CEPAL, 2010g).

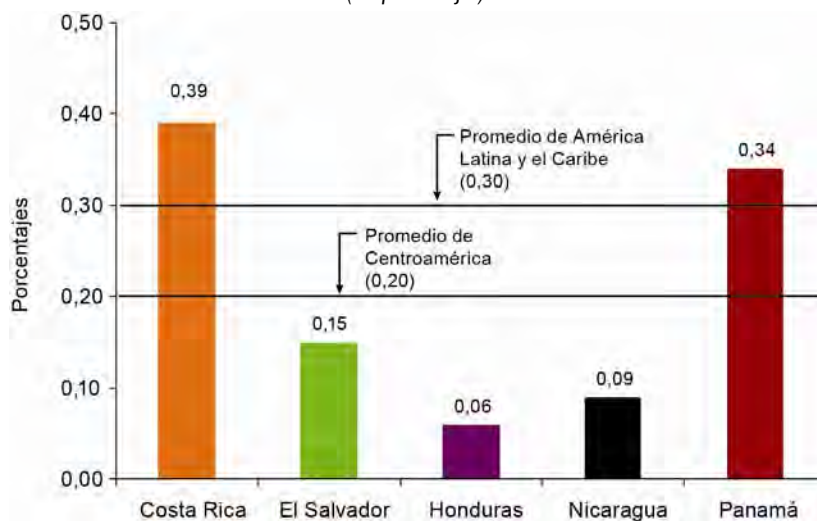
Un estudio reciente de la CEPAL sobre los sistemas de ciencia, innovación y tecnología en Centroamérica confirma que todos los países de la región tienen instituciones de ciencia y tecnología e iniciativas para fortalecer las capacidades tecnológicas, pero en general no están coordinadas ni forman parte de un plan integral de largo plazo, además de no tener suficientes recursos para su ejecución (CEPAL, 2007a). Los esfuerzos de los últimos años incluyen la formulación de políticas específicas en Panamá, Guatemala, Nicaragua, El Salvador y Costa Rica (esta última en el marco de su Estrategia Siglo XXI). El sistema de integración cuenta con una comisión para el desarrollo científico y tecnológico de Centroamérica.

El patrón de inserción de la región a la economía global no ha facilitado el fortalecimiento de capacidades tecnológicas, pues entre las exportaciones de manufacturas predominan bienes de bajo contenido tecnológico, salvo en los sectores electrónicos y de equipo médico de Costa Rica, los cuales están concentrados en los eslabones de la cadena de valor global menos intensivos en conocimientos. La transferencia de tecnología de empresas transnacionales al resto de las economías locales ha estado limitada por los escasos eslabonamientos y la falta de capacidad de absorción.

Los indicadores del esfuerzo para incrementar las capacidades de innovación y tecnológicas incluyen la formación de recursos humanos medida por el gasto en educación, la matrícula en educación secundaria, el gasto en innovación y desarrollo y el número de personas dedicadas a ciencia y tecnología. Para medir los resultados en cambio tecnológico se puede considerar el número de solicitudes de patentes por residentes y no residentes en los países. En general, los indicadores de esfuerzos y resultados tecnológicos permiten concluir que en los últimos quince años no se ha logrado un desarrollo significativo de capacidades propias en los países de la subregión. Con excepción de Costa Rica y Panamá, no ha habido cambios notorios en recursos invertidos para

fortalecer capacidades tecnológicas y, por consiguiente, tampoco se observan avances importantes en desarrollo de capacidades (véase el gráfico 11.6).

**GRÁFICO 11.6**  
**CENTROAMÉRICA: GASTO EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**  
**COMO PORCENTAJE DEL PIB**  
(En porcentajes)



Nota: Última cifra disponible. No se incluye Guatemala porque solo publica el gasto en I+D realizado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT). Datos para Belice no disponibles.

Fuente: CEPAL, 2007a.

A pesar de estas limitaciones, es importante identificar y aprovechar la experiencia existente de la región, se pueden hacer varias observaciones. Ciertas empresas centroamericanas ya tienen políticas de reducción de impacto ambiental y/o de carbono y la internacionalización de empresas conlleva la adquisición de nuevos conocimientos sobre mercados, métodos de organización y tecnologías de producción. Ciertas empresas centroamericanas están pasando por esta etapa y habrá que determinar la efectividad de estos procesos y su potencial de contribuir al desarrollo tecnológico de los sectores y las economías donde operan.

Con frecuencia los pueblos indígenas y las poblaciones campesinas conservan prácticas, variedades de productos –que constituyen un acervo genético estratégico– y conocimientos locales que contribuyen al desarrollo económico sostenible y a la conservación de su ambiente y biodiversidad. Considerando los retos de adaptación que podrán enfrentar estas poblaciones, será importante asegurarles los medios necesarios para que protejan y aprovechen sus acervos de biodiversidad, tanto natural como agrícola, y fortalezcan sus capacidades de innovación y conservación. Lo que en ocasiones es visto como desventaja, como la producción de café de sombra sin insumos modernos, puede ser una ventaja si se adopta la producción orgánica para mercados “verdes”. En el esfuerzo de aumentar la capacidad tecnológica frente al cambio climático, será importante reconocer, apoyar y asegurar la participación de estos grupos en la investigación y desarrollo de opciones tecnológicas.

## LIMITAR LA PRESIÓN HUMANA SOBRE LOS ECOSISTEMAS PARA MEJORAR SU ADAPTACIÓN Y LA PROVISIÓN PERDURABLE DE SERVICIOS

La adaptación humana al cambio climático está claramente ligada a la adaptación de los ecosistemas de los cuales depende, especialmente en regiones como la centroamericana<sup>4</sup>. Si se mantienen los actuales patrones de consumo y explotación, con la expansión poblacional y de actividad económica prevista, los ecosistemas enfrentarán el cambio climático seriamente ya debilitados por la presión de la actividad humana. El Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE) estima que la población de la región crecerá de 45 millones en 2005 a 68 millones en 2050, alcanzando el máximo de 73 millones en 2075. No obstante, el impacto de la población sobre el ambiente no es solo función de su número sino de la huella ecológica de los diferentes grupos humanos. Esta huella tiene que ver tanto con el uso de recursos naturales, como con la contaminación del ambiente, incluyendo las emisiones de carbono. En general, la población en situación de pobreza emite mucho menos carbono que la población afluente. Por ejemplo, los Estados Unidos tienen un nivel de emisiones per cápita de aproximadamente 24 toneladas (T) por año, mientras que Costa Rica tiene entre 2 y 3 T. El riesgo de mantener este patrón de desarrollo es identificado también por el escenario futuro de cambio de uso de tierra sin cambio climático que indica que habrá importantes pérdidas de ecosistemas naturales como los bosques y sabanas y su conversión a la actividad agropecuaria. Esto tiene implicaciones serias para los servicios conexos, como la disponibilidad de agua y la productividad agrícola misma.

Como se ve en los estudios realizados, la biodiversidad y los ecosistemas contribuyen de diversas formas a los procesos de producción, distribución y consumo. Su valor económico es incuestionable pero no se refleja adecuadamente en los precios de mercado. De hecho, en muchos casos no existe un valor asignable. Gran parte de los servicios ecosistémicos en Centroamérica experimentan esta falta de valorización, así que es difícil esperar que su valor sea “incorporado” a tiempo en los mercados para incentivar decisiones correctas sobre su uso y preservación. Las señales de pérdidas económicas vía productividad agrícola, disponibilidad de agua y otros indicadores llegarán cuando estos activos se hayan agotado significativamente, lo que ocurrirá aun sin cambio climático.

Los resultados de las proyecciones climáticas sugieren que el índice de biodiversidad potencial se reducirá significativamente en los países de Centroamérica. A nivel regional, la simulación estima una reducción del índice en más del 18% y 36% al 2050 en los escenarios B2 y A2, respectivamente. Para el 2100 la disminución alcanzaría 33% y 58%. Por países la reducción estimada de la biodiversidad potencial en el escenario B2 va de 50% para Nicaragua a aproximadamente 22% para Belice. En el escenario A2 las reducciones son entre 70% y 75% para Guatemala, Nicaragua, El Salvador y Honduras, y entre 38% y 43% para los otros tres países.

Aunque sólo una pequeña parte de los servicios proporcionados por la biodiversidad ha sido objeto de valoración económica, el costo inicial del cambio climático es significativo. Su estimación para Centroamérica en los escenarios B2 y A2 acumulada al año 2100 es equivalente a 12% y 18%, respectivamente, del PIB de 2008 a VPN a tasa de descuento del 0,5%, incluyendo impactos directos e indirectos. En el escenario B2 y con tasa de descuento de 0,5%, el país con mayores costos es Nicaragua (41%) y el país con menores costos es El Salvador (5%). En el escenario A2 las cifras varían entre Nicaragua (58%) y El Salvador (9%). Una parte importante de este costo es por pérdidas de producción agrícola, lo cual probablemente es adicional al costo calculado en el capítulo correspondiente.

---

<sup>4</sup> El IPCC define a la adaptación como los ajustes de los sistemas humanos y ecológicos al cambio climático.

La conservación de la biodiversidad y los ecosistemas es prioritaria para la adaptación al cambio climático, pero es un reto complejo. Es necesario considerar el principio de precaución y establecer un estándar mínimo, considerando la irreversibilidad de la pérdida biológica, el riesgo y la incertidumbre. En algunas propuestas de medidas de adaptación hay sinergias potenciales con la protección de los ecosistemas, como mayor eficiencia del uso del agua, cambios en la agricultura y aumento en el uso de energía eléctrica entre la población pobre; lo mismo ocurre con opciones de mitigación por reducción de la deforestación, la degradación y la destrucción de los corales y manglares.

#### **TOMAR MEDIDAS PREVISORIAS DE POLÍTICA FISCAL Y GENERAR INCENTIVOS CORRECTOS PARA LA ADAPTACIÓN SOSTENIBLE**

El Informe Stern (2007) calificó al cambio climático como la mayor falla de mercado que ha surgido en la historia de la humanidad. El mercado tiene dificultad para valorar correctamente el cambio climático porque una gran parte de sus costos no son registrados “a precio de mercado”, como este estudio ha evidenciado. Éstos incluyen costos sociales y ambientales y algunos propiamente económicos a corto, mediano y largo plazo. En términos económicos, el cambio climático es una externalidad global. Igualmente, es un reto que requiere tomar decisiones con suficiente flexibilidad para adaptarse a las condiciones cambiantes de la economía de tal manera que se asegure una distribución equitativa de los costos. A nivel global, la CMNUCC propone el principio ambiental de que los gastos del cambio climático sean responsabilidad de los emisores de GEI.

Dado que se trata de una falla de mercado, el cambio climático no puede ser tratado exclusivamente como problema de las instituciones ambientales, sino como problema económico transversal. Como los mercados no pueden solucionarlo, requiere una acción colectiva encabezada por el Estado, es decir, por el conjunto de instituciones públicas y espacios de toma de decisión y acción de la sociedad. Por eso Bárcena señala que la seguridad climática es un bien público global que se debe proteger (Bárcena, 2009).

El cambio climático puede afectar fuertemente las finanzas públicas en los países de Centroamérica por diversas vías, como el aumento de las emergencias por eventos extremos y la inestabilidad de la producción agrícola o de hidroelectricidad. También puede aumentar las demandas de ampliación y ajuste de los servicios sociales y relocalización de poblaciones y actividades económicas. La población afectada demandaría compensación por pérdidas, lo que probablemente recaerá sobre el Estado. Esta lista no exhaustiva de las presiones del cambio climático sobre las finanzas públicas sugiere que el impacto económico de este fenómeno debe ser visto como un serio pasivo contingente que a largo plazo se tornará mucho menos “contingente”.

El Informe Stern (2007) calcula que el impacto económico del cambio climático a nivel global podría alcanzar hasta 20% del PIB mundial al final del siglo. Estima también que si se toman medidas enérgicas ahora para reducir las emisiones, el impacto podría reducirse sustancialmente y su costo sería mucho menor. A nivel centroamericano, el estimado del costo acumulado al año 2100 del cambio climático basado en las valorizaciones de los cuatro ámbitos estudiados es equivalente al 32% del PIB de 2008 a VPN con tasa de descuento de 0,5% y 54% con el escenario A2. Si se toman medidas enérgicas en la actualidad para reducir las emisiones globales, el impacto se puede reducir sustancialmente y su costo sería menor.

Se requiere un análisis más detallado de los costos de adaptación y transferencia de recursos de los países desarrollados, los cuales deberán ser mucho mayores que los transferidos hasta ahora en la forma de asistencia oficial al desarrollo (Stern, 2007). Las primeras estimaciones del costo de

adaptación son variadas. Stern y el Banco Mundial estiman magnitudes que llegan a cerca de los 40.000 millones de dólares. Antes de la COP15, el financiamiento para la adaptación dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) estaba limitado al 2% del impuesto sobre la venta de certificados MDL (CEPAL, GTZ y Gobierno de Dinamarca, 2009). El Acuerdo de Copenhague, propuso un financiamiento de corto plazo (período 2010-2012) por 10.000 millones de dólares al año para adaptación y mitigación, y un flujo financiero de largo plazo que para el año 2020 debiera llegar a los 100.000 millones de dólares al año (CEPAL y BID, 2010). En la COP16 en Cancún, se acordó crear una estructura institucional, el Fondo Verde, para administrar este flujo financiero.

En Centroamérica es necesario adoptar medidas de prevención para reducir los efectos negativos de tal forma que a futuro la incidencia como proporción del PIB sea mínima; asimismo, crear mecanismos financieros dentro de un contexto de desaceleración económica y programas de estímulo fiscal para amortiguar el impacto sobre la población, la biodiversidad y la naturaleza y alinear los incentivos fiscales para transitar hacia una economía menos dañina al ambiente. Otra tendencia que podría complicar el panorama para los países analizados es el relativo rezago de Estados Unidos, su principal socio comercial. La inserción internacional debería encontrar otros ejes para adaptarse a este mundo cambiante. La crisis financiera actual es una amenaza de proporciones enormes, pero podría ser aprovechada para replantear la estrategia de desarrollo, incorporando medidas frente al cambio climático.

El complejo desafío de enfrentar la crisis, impulsar y financiar un desarrollo más solidario e incluyente y tomar medidas de adaptación al cambio climático plantea la tarea urgente de reformar el sistema tributario y de transferencias. CEPAL (2010g) ha propuesto cinco áreas estratégicas: una política macroeconómica para el desarrollo incluyente; convergencia productiva para cerrar las brechas internas de productividad con políticas industriales, tecnológicas y de apoyo a las pymes; convergencia territorial; más y mejor empleo y el cierre de las brechas sociales. Estas políticas requieren pactos fiscales, estructuras tributarias progresivas y eficientes y una función redistributiva del Estado.

A pesar de la demanda de los retos inmediatos de la crisis actual, los ministerios de finanzas y hacienda de los gobiernos de Centroamérica han empezado a prestar atención al cambio climático. En algunos casos se ha asignado personal técnico al tema, se está participando en comités nacionales de cambio climático y fortaleciendo la coordinación con los ministerios de ambiente. Ya existe experiencia en la región en acciones como canje de deuda por financiamiento de programas de cambio climático, etiquetado de líneas presupuestarias para identificar inversión en adaptación, propuestas para fondos nacionales de cambio climático y mercados internos de bonos de carbono, requerimientos para planes sectoriales de cambio climático como parte del ejercicio presupuestal, fondos de contingencia para desastres, inversión para la adaptación de la infraestructura y pago por servicios ambientales.

## 11.5 CONSIDERACIONES FINALES

A partir de los resultados iniciales de los estudios revisados y realizados en el proyecto, se han identificado retos de adaptación en los ámbitos de eventos extremos, recursos hídricos, seguridad alimentaria y producción agropecuaria, reducción de la pobreza y servicios sociales, tecnología e innovación, ecosistemas y política fiscal. En el capítulo 13 opciones de políticas se presentan propuestas para estos retos de adaptación, las cuales deberán analizarse y afinarse en discusiones con los expertos y tomadores de decisiones nacionales y regionales.



## 12. ESCENARIOS DE EMISIONES Y OPCIONES DE MITIGACIÓN

### 12.1 INTRODUCCIÓN

La evidencia científica presentada por el Panel Internacional del Cambio Climático (IPCC) y otros expertos confirma la necesidad de revertir la tendencia actual de emisiones crecientes de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y reducirlas gradualmente hasta alcanzar una solución definitiva. El año 2004 se emitían más de 49 giga toneladas (GT) de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) por año a nivel global, habiendo crecido 70% desde 1970 (IPCC, OMM y PNUMA, 2007; IPCC, 2007c). En un escenario tendencial podrían llegar a 80 GT anuales el año 2050 (Stern, 2008a). La concentración acumulada en la atmósfera en 2005 era aproximadamente 455 partes por millón (ppm) de CO<sub>2</sub>e<sup>1</sup>. El escenario de estabilización más baja del IPCC busca limitar la concentración en un rango de 455 ppm a 490 ppm CO<sub>2</sub>e a más tardar en 2015 para no sobrepasar un aumento de temperatura de 2 °C a 2,4 °C sobre el nivel preindustrial. Esto requerirá una reducción de emisiones de 50% a 85% entre los años 2000 y 2050 (IPCC, OMM y PNUMA, 2007; IPCC, 2007c). Aún así, un estudio del IPCC indica que una concentración de 450 ppm de CO<sub>2</sub>e provocaría un aumento de 3 °C con probabilidad de 78% (Murphy y otros, 2004).

El promedio mundial de emisiones per cápita anual es aproximadamente siete toneladas (T) de CO<sub>2</sub>e. Estados Unidos y Canadá emiten alrededor de tres veces más que el promedio, entre 20T y 25T, y la Unión Europea entre 10T y 12T. China e India emiten aproximadamente 5T y 2T per cápita con tasas de crecimiento altas. La población mundial actual es de 6.000 millones, con 5.000 millones en el mundo en desarrollo. Para 2050 habrá aproximadamente 9.000 millones, de los cuales 8.000 millones vivirán en países en vías de desarrollo. Para no sobrepasar una concentración de 450ppm a 500ppm de GEI, habrá que estabilizar las emisiones en los próximos 15 años y reducirlas a 20GT anuales para 2050 o aproximadamente 2T per cápita. Posteriormente habrá que estabilizarlas en 10GT anuales y 1T per cápita (Stern, 2008a).

Ante estas tendencias hay una creciente preocupación y tensión internacionales por tomar medidas ambiciosas, vinculantes e inmediatas para estabilizar y reducir el nivel de emisiones de GEI globales. De acuerdo con el principio de responsabilidades comunes y diferenciadas de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), este objetivo exige reducciones significativas de las emisiones de los países desarrollados y apoyos financieros y tecnológicos a los países en vías de desarrollo para su adaptación. En su Posición Común de 2009, Centroamérica propone que los países desarrollados reduzcan sus emisiones en 45% para 2020 y 95% para 2050 respecto al nivel de 1990 (CCAD y SICA, 2010). Otra propuesta es que los países desarrollados reduzcan sus emisiones entre 20% y 40% al 2020 y por lo menos 80% al 2050 y transfieran financiamiento y tecnología sustantivos a los países en desarrollo como condición de que éstos asuman metas de reducciones (Stern, 2008a).

---

<sup>1</sup> Si se considera todos los elementos que afectan el clima, por ejemplo los aerosoles con su efecto enfriador, el efecto neto es equivalente a aproximadamente 375 ppm CO<sub>2</sub>e.

Los países denominados “emergentes” emiten proporciones de GEI cada vez más significativas. Por lo cual hay presión para que tomen medidas inmediatas para reducirlas junto con su intensidad energética. Por su parte, los países pequeños en desarrollo reclaman atención a sus vulnerabilidades y a los injustos impactos del cambio climático sobre ellos.

El escenario de emisiones del IPCC B2 arroja un rango de aumentos de temperatura globales entre 1,4 °C y 3,8 °C para el período 2090-2099 (en relación al período 1980-1999), con una estimación más probable de 2,4 °C. El rango para A2 es entre 2 °C y 5,4 °C con un mejor estimado de 3,4 °C (IPCC, OMM y PNUMA, 2007). Los resultados para Centroamérica con ambos escenarios y los modelos utilizados en este estudio son aumentos de temperatura de 2,5 °C en B2 y 4,2 °C en A2 en promedio (véase el cap. 1 sobre escenarios climáticos).

Se estima que Centroamérica produce una mínima parte de las emisiones de GEI globales, menos de 0,8% de las emisiones brutas totales en el 2000 y menos de 0,3% sin cambio de uso de tierra (CUT)<sup>2</sup>, proporciones que probablemente no cambiará significativamente en un escenario tendencial. Hay consenso de que esfuerzos significativos de los países de la región por reducir sus emisiones no cambiarán la trayectoria global, así que metas obligatorias representarían una carga injusta además de enfrentar los impactos de cambio climático. No obstante, como parte de su responsabilidad común diferenciada pueden esforzarse por reducir sus propias emisiones. De hecho, la mitigación es parte de sus agendas nacionales.

Las opciones de reducción de emisiones de GEI de los países de la región se basan en las líneas generales acordadas por los Ministros de Ambiente: que las prioridades son reducir vulnerabilidades y adaptarse y que se podrán considerar opciones de reducción de emisiones como cobeneficio del esfuerzo de adaptación en el marco de un desarrollo más sostenible y solidario, reconociendo derechos intergeneracionales y “naturales”, es decir, el derecho al disfrute perdurable de la naturaleza.

Este capítulo presenta dos ejercicios hipotéticos que estiman escenarios futuros de emisiones de GEI en la región, identificando oportunidades de transición a economías más sostenibles y sus costos. También pueden servir de base para estimar los costos adicionales en caso de que los países adopten medidas de reducción de emisiones. Los ejercicios son demostrativos de los modelos usados; los supuestos asumidos y los datos utilizados están abiertos a mayor exploración con las instituciones socias del proyecto y expertos nacionales y regionales. El capítulo se divide en dos apartados: un escenario prospectivo al 2100 basado en el modelo IPAT<sup>3</sup> y una exploración de las opciones de mitigación al 2030 con una curva de abatimiento para la región.

## 12.2 INVENTARIOS DE EMISIONES EN CENTROAMÉRICA

El Cuadro 12.1 presenta las estimaciones de los inventarios nacionales de las emisiones netas de GEI (CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), CH<sub>4</sub> (metano) y N<sub>2</sub>O (óxido de nitrógeno)) medidas en CO<sub>2</sub>e a 100 años. Todas las magnitudes de emisiones fueron obtenidas de los inventarios de cada país. Hasta ahora no se cuenta con series de emisiones de la misma frecuencia para todos los países, lo cual hace difícil el análisis de las trayectorias. Todos los países tienen inventarios para el año 2000, no para los subsecuentes.

<sup>2</sup> Estimaciones basadas en inventarios nacionales de 2000, cifras globales del IPCC, 2007c y base de datos WRI, 2010. Es importante notar la alta incertidumbre sobre las emisiones de cambio de uso de tierra.

<sup>3</sup> I = Impacto, P = Población, A = Riqueza y T= Tecnología, por sus siglas en inglés.

**CUADRO 12.1**  
**CENTROAMÉRICA: EMISIONES NETAS DE GEI REPORTADAS EN INVENTARIOS NACIONALES**

*(En toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> a 100 años incluyendo CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>e)*

<b>País</b>	<b>1990</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>
Belice					7 875 219	9 881 604	
Costa Rica	7 442 030			9 779 710		7 940 400	8 779 200
El Salvador		15 858 862				13 127 803	
Guatemala	-24 803 642					5 849 634	
Honduras			15 133 090			16 703 140	
Nicaragua		-4 424 250				57 749 640	
Panamá		22 945 860				9 289 540	

Fuente: Inventarios de GEI de cada país.

En los años noventa, dos países reportaron emisiones negativas netas, Guatemala en 1990 y Nicaragua en 1994. Las emisiones negativas resultan de situaciones en que las emisiones brutas son menores a la absorción de CO<sub>2</sub>e debido al crecimiento de la vegetación secundaria en áreas deforestadas por actividades agropecuarias luego abandonadas. En la década de 2000 ningún país reporta emisiones negativas netas. Las emisiones netas en 2000 varían entre 5,8 millones de Toneladas de CO<sub>2</sub>e (TCO<sub>2</sub>e) en Guatemala y 57,7 en Nicaragua.

El cuadro 12.2 presenta un resumen de los inventarios de emisiones de los siete países en el año 2000 (véase el anexo 1). Las emisiones regionales sin CUT son de 88 millones de TCO<sub>2</sub>e para los sectores de energía, procesos industriales, agricultura y desechos, de los cuales 47% correspondió a agricultura y 41% a energía (véase el gráfico 12.1). Las emisiones per cápita de estos cuatro sectores son 2,7 TCO<sub>2</sub>e para la región. Panamá y Belice tienen las emisiones per cápita más altas, 3,9 TCO<sub>2</sub>e cada uno, mientras las más bajas corresponden a Honduras y El Salvador con 1,8 TCO<sub>2</sub>e y 1,5 TCO<sub>2</sub>e, respectivamente. Las emisiones sin CUT del resto de los países son: Costa Rica 2,8 TCO<sub>2</sub>e, Guatemala 2,9 TCO<sub>2</sub>e y Nicaragua 2,4 TCO<sub>2</sub>e.

**CUADRO 12.2**  
**CENTROAMÉRICA: EMISIONES DE GEI REPORTADAS EN INVENTARIOS NACIONALES, 2000**

*(En miles de toneladas de CO<sub>2</sub>e)*

<b>Sector</b>	<b>Belice</b>	<b>Costa Rica</b>	<b>El Salvador</b>	<b>Guatemala</b>	<b>Honduras</b>	<b>Nicaragua</b>	<b>Panamá</b>	<b>Total</b>
Energía	669,3	4 805,6	5 378,8	10 426,6	4 076,7	3 922,6	6 803,6	36 083,2
Procesos industriales	0,3	449,8	444,2	1 235,7	690,0	305,8	432,7	3 559,5
Agricultura	244,1	4 608,6	2 512,5	19 471,1	4 441,9	7 101,0	3 204,7	41 583,9
Desechos	40,2	1 236,9	1 263,6	1 049,3	1 738,7	651,9	1 081,5	7 062,1
Emisiones sin cambio de uso de tierra	953,6	11 100,9	9 599,2	32 182,7	10 947,3	11 981,4	11 522,5	88 287,6
Emisiones con cambio de uso de tierra	12 790,0	1 157,3	3 702,2	11 127,1	56 696,7	140 257,2	21 425,0	247 156,5
Emisiones brutas	13 743,6	12 258,2	13 301,5	43 309,8	67 643,9	152 238,6	32 947,5	335 443,1
Absorciones por cambio de uso de tierra	-3 862,0	-4 317,8	-173,7	-37 460,2	-50 940,8	-94 489,0	-23 658	-214 902,5
Emisiones-absorciones por cambio de uso de tierra	8 928,0	-3 160,5	3 528,6	-26 333,1	5 755,9	45 768,2	-2 233,0	32 254,1
Emisiones netas	9 881,6	7 940,4	13 127,8	5 849,6	16 703,1	57 749,6	9 289,5	120 541,6

Fuente: Elaboración propia sobre la base del Anexo 1 de la CMNUCC e inventarios nacionales de 2000.

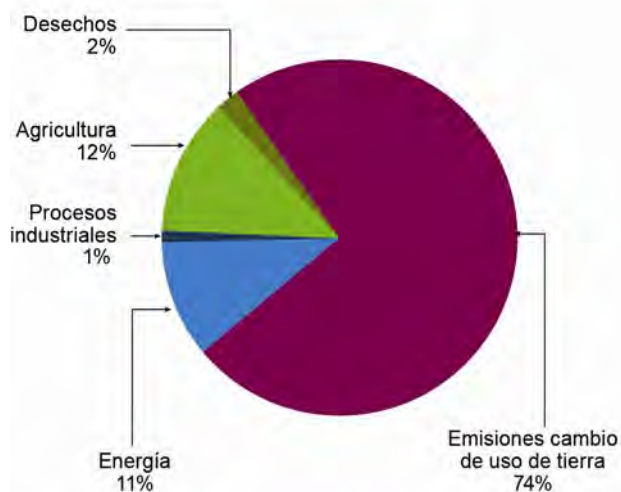
**GRÁFICO 12.1**  
**CENTROAMÉRICA: EMISIONES DE GEI POR SECTOR SIN EMISIONES DE CAMBIO DE USO DE TIERRA, 2000**  
 (En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

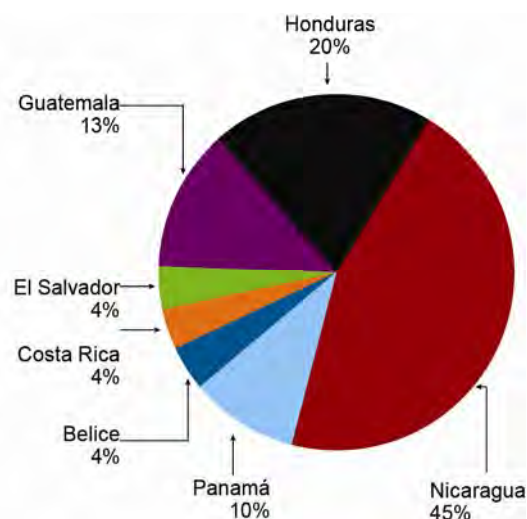
Las emisiones brutas totales de la región sumaron 335 millones de TCO<sub>2</sub>e y las netas 120 millones TCO<sub>2</sub>e en 2000. Los sectores de energía, procesos industriales, agricultura y desechos sólo registran emisiones, mientras que el CUT registra emisiones y absorciones. Las emisiones brutas por CUT fueron aproximadamente 247 millones de TCO<sub>2</sub>e, representando 74% de las emisiones brutas totales, seguidas por agricultura con 12% y energía con 11%. No obstante, las absorciones de CUT fueron 214 millones de TCO<sub>2</sub>e, generando una emisión neta de 32 millones de TCO<sub>2</sub>e. En emisiones CUT brutas predomina Nicaragua (140 millones de TCO<sub>2</sub>e) seguida por Honduras (57) y Panamá (21) (véanse los gráficos 12.2 y 12.3).

**GRÁFICO 12.2**  
**CENTROAMÉRICA: EMISIONES BRUTAS DE GEI POR SECTOR CON CAMBIO DE USO DE TIERRA, 2000**  
 (En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

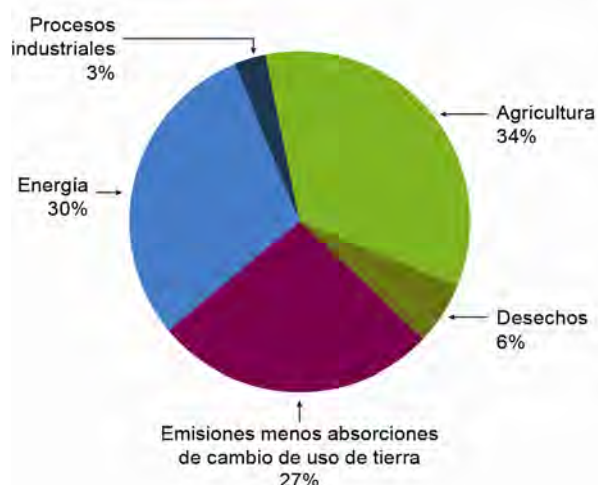
**GRÁFICO 12.3**  
**CENTROAMÉRICA: EMISIONES BRUTAS DE GEI POR PAÍS CON CAMBIO DE USO DE TIERRA, 2000**  
 (En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

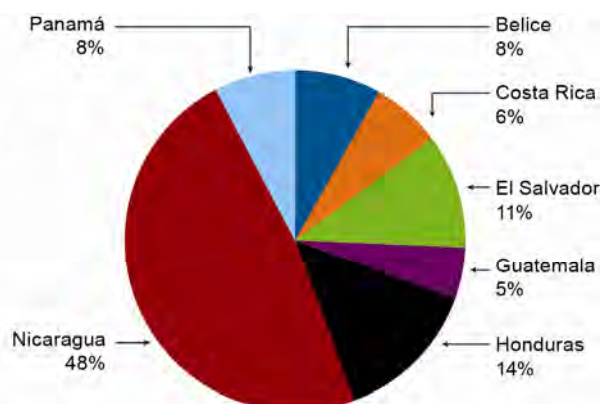
Las mayores absorciones por CUT son las de Nicaragua (94 millones de TCO<sub>2</sub>e) y Honduras (51 millones de TCO<sub>2</sub>e). A nivel de emisiones netas de CUT, Guatemala, Costa Rica y Panamá son sumideros netos (tienen valores negativos). La cifra positiva más alta es la de Nicaragua (46 millones de TCO<sub>2</sub>e). Del total de emisiones netas, 121 millones de TCO<sub>2</sub>e, la agricultura es el mayor emisor con 34%, seguida por energía con 30% y CUT neto con 27%. El binomio CUT-agricultura representa más del 60% de emisiones netas; energía-desechos-procesos industriales casi 40%. Por país, Nicaragua registra 48% de las emisiones netas, seguida por Honduras (14%), El Salvador (11%), Panamá y Belice (8%), Costa Rica (6%) y Guatemala (5%). Nicaragua y Honduras son los mayores emisores de emisiones brutas y netas (véanse los gráficos 12.4 y 12.5).

**GRÁFICO 12.4**  
**CENTROAMÉRICA: EMISIONES NETAS DE GEI**  
**POR SECTOR, 2000**  
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 12.5**  
**CENTROAMÉRICA: EMISIONES NETAS DE GEI**  
**POR PAÍS, 2000**  
(En porcentajes)



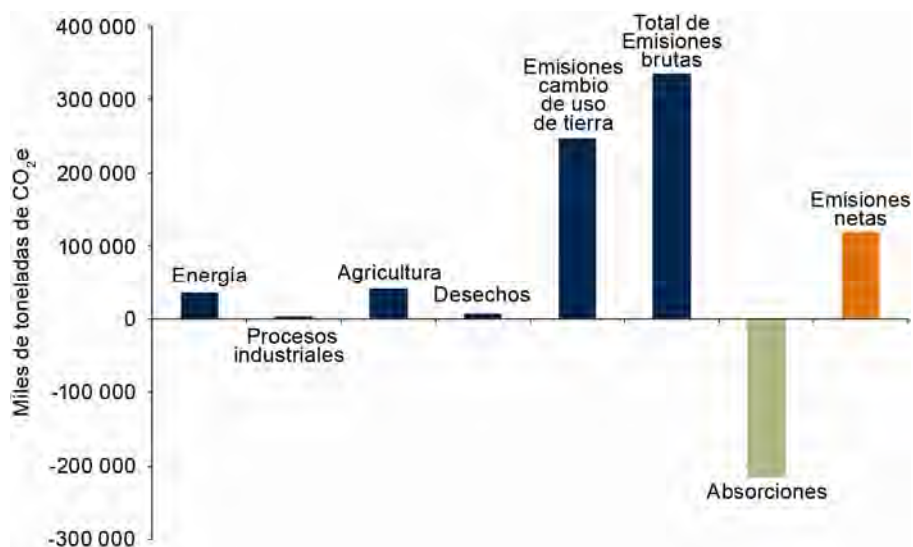
Fuente: Elaboración propia.

En resumen, estructura de emisiones brutas está fuertemente dominada por CUT con tres cuartos del total. Las absorciones (cambios de bosque/biomasa, abandono de tierra manejada y absorción del suelo, entre otros) representan 85% de estas emisiones. El resultado de emisiones netas equivaldría a solamente 13% del valor bruto. Nicaragua registra las mayores emisiones brutas, absorciones y emisiones netas. Costa Rica, Panamá y Guatemala registran emisiones netas negativas en el sector. El Salvador y Honduras, con emisiones netas relativamente menores, podrían alcanzar el mismo estatus con cierto esfuerzo (véase el gráfico 12.6).

<sup>4</sup> Los métodos utilizados en estos inventarios, aprobados por el IPCC, no incluyen cálculos de absorción en el sector agropecuario.



**GRÁFICO 12.6**  
**CENTROAMÉRICA: EMISIONES DE GEI POR SECTOR, BRUTAS Y NETAS, 2000**  
 (En miles de toneladas de CO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaboración propia basada en los inventarios nacionales de 2000.

Las emisiones brutas y netas per cápita varían dependiendo de la inclusión de emisiones y absorciones de CUT. El promedio per cápita regional de emisiones brutas con CUT (sin absorciones) es 9,3 TCO<sub>2</sub>e, destacando Belice con 56,1 TCO<sub>2</sub>e y Nicaragua con 29,8 TCO<sub>2</sub>e. Más cercanos al promedio de la región están Honduras y Panamá con 10,9 TCO<sub>2</sub>e y 11,2 TCO<sub>2</sub>e, respectivamente. Costa Rica reporta 3,1 TCO<sub>2</sub>e, El Salvador 2,1 TCO<sub>2</sub>e y Guatemala 3,9 TCO<sub>2</sub>e, muy abajo del promedio.

Las estimaciones de emisiones per cápita totales netas son mucho menores: el promedio de la región es 3,4 TCO<sub>2</sub>e (considerando la absorción por CUT), Belice y Nicaragua tienen las emisiones más altas con 40,3 TCO<sub>2</sub>e y 11,3 TCO<sub>2</sub>e, respectivamente. El resto de los países se ubica por debajo del promedio regional: Costa Rica 2,0 TCO<sub>2</sub>e, El Salvador 2,1 TCO<sub>2</sub>e, Guatemala 0,5 TCO<sub>2</sub>e, Honduras 2,7 TCO<sub>2</sub>e y Panamá 3,2 TCO<sub>2</sub>e. Es importante tomar nota de las múltiples incertidumbres y escasez de datos para estimar emisiones y absorciones por CUT. Con mayores y mejores datos, los porcentajes probablemente variarían.

### 12.3 ESCENARIOS PROSPECTIVOS DE EMISIONES AL 2100 CON EL MODELO IPAT

Múltiples factores influyen en el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>e, como son el desarrollo económico, el crecimiento demográfico, el cambio tecnológico, las dotaciones de recursos, las estructuras institucionales, los modelos de transporte, los estilos de vida y el comercio internacional. Dos indicadores útiles para el análisis de emisiones son la intensidad de uso de energía por unidad de PIB y el volumen de CO<sub>2</sub>e por cada unidad de energía generada. Una herramienta para explorar las principales fuerzas causantes de este comportamiento contaminante es la Identidad de Kaya o modelo IPAT (Stern, 2007a; IPCC, 2007c). Según esta identidad, las emisiones de un país se descomponen en el producto de cuatro factores básicos:

$CO_2e/E$  = índice de carbonización o intensidad de carbono de la energía definida como CO<sub>2</sub>e por unidad de energía consumida.

$E/PIB$  = intensidad energética definida como energía consumida por unidad de PIB.

$PIB/POB$  = nivel del PIB per cápita.

POB = población.

Lo cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$CO_2e = \left[ \frac{CO_2e}{E} \right] \times \left[ \frac{E}{PIB} \right] \times \left[ \frac{PIB}{POB} \right] \times POB$$

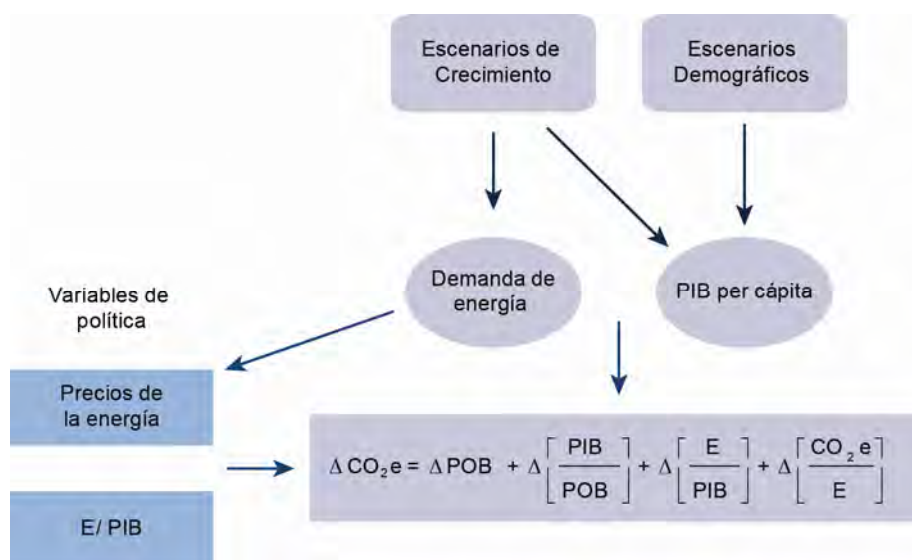
El primer componente refleja la combinación de combustibles o fuentes energéticas de un país; el segundo se asocia a la eficiencia energética en la provisión de bienes y servicios y a otros factores, en especial el transporte y la estructura sectorial de la economía; el tercero es una medida del nivel de riqueza del país. Si pasamos el término POB al lado izquierdo de la ecuación, obtendríamos el nivel de emisiones per cápita. El enfoque de los factores de Kaya permite descomponer los factores determinantes de las emisiones de  $CO_2e$ . Un inconveniente es que estos factores pueden no ser independientes entre sí. No obstante, el modelo es muy útil para estimar escenarios prospectivos de muy largo plazo, como el del estudio “La economía del cambio climático en Centroamérica”. Aquí se utiliza para construir un escenario base de emisiones al 2100 para el conjunto de países de Centroamérica.

Es común utilizar la identidad IPAT en tasas de crecimiento en forma agregada:

$$\Delta CO_2e = \Delta POB + \Delta \left[ \frac{PIB}{POB} \right] + \Delta \left[ \frac{E}{PIB} \right] + \Delta \left[ \frac{CO_2e}{E} \right]$$

El modelo IPAT también es utilizado como guía de los posibles costos asociados al proceso de mitigación. La curva de costos de abatimiento puede desprenderse al asociar la evolución de las emisiones a sus fuentes económicas y posteriormente identificar las trayectorias sectoriales, de donde se obtienen las emisiones esperadas y los costos de reducción por tonelada de carbono por sectores. De este modo, las metas de reducciones posibles en toneladas de carbono representadas por las cuñas (*wedges*) del escenario inercial se asocian a los costos potenciales de acuerdo a los costos tecnológicos.

**DIAGRAMA 12.1.**  
**ESCENARIOS DE MITIGACIÓN CON BASE EN EL MODELO IPAT**



Fuente: Elaboración propia.

## ESCENARIO BASE AL 2100

Con el modelo IPAT es posible pronosticar emisiones de CO<sub>2e</sub> con supuestos tendenciales de crecimiento demográfico, crecimiento del PIB, intensidad energética e intensidad CO<sub>2e</sub>/energía. La tendencia esperada de las últimas dos variables es que haya una ligera mejora tecnológica, de modo que el PIB tendrá una tasa de crecimiento ligeramente superior a la de crecimiento del consumo de energía, mientras que ésta crecerá más rápido que las emisiones de CO<sub>2e</sub>. Las fuentes de información utilizada en este ejercicio se presentan en el recuadro 12.1.

### RECUADRO 12.1 FUENTES DE INFORMACIÓN DE CENTROAMÉRICA

El ejercicio del modelo IPAT para Centroamérica usa cuatro variables: población, PIB, consumo nacional de energía y emisiones de GEI con estadísticas de Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá.

**Población:** La información fue obtenida del Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía División de Población de CEPAL e incluye datos de 1990 a 2008. De la misma fuente se obtuvieron los pronósticos de población al año 2100, reportados cada diez años, por lo que el resto de la información es extrapolada. Para Belice no hay pronósticos de CELADE, por lo que la población al 2100 fue estimada por el equipo del proyecto (véase el cap. 2 para mayor información; CEPAL y CELADE, 2009).

**Producto Interno Bruto:** El PIB está expresado en millones de dólares a precios constantes del 2000, cuya fuente es CEPAL. La información comprende de 1970 a 2006. Para Belice la fuente es el *World Development Indicators* del Banco Mundial, mismo período. Los pronósticos para el período 2006 a 2100 fueron elaborados en el marco del proyecto (véase el cap. 2 para mayor información).

**Consumo Nacional de Energía:** La base del consumo nacional de energía es de CEPAL. El consumo energético corresponde a transporte, industria, residencial, comercio, agricultura, pesca y construcción, que consumen distintos tipos de energéticos. Energía primaria incluye petróleo, gas natural, carbón mineral, hidroenergía, geotermia, nuclear, leña y productos de caña. Energía secundaria abarca electricidad, gas licuado, gasolina, kerosene, diesel oil, fuel oil, coque, carbón vegetal y gases. Para Belice no hay información disponible, entonces se toma el supuesto de que el consumo nacional de energía es igual a la importación de energía, ya que es importador neto. Así, se utilizó información del Ministerio de Finanzas de Belice sobre importación de galones de kerosene, diesel y gas convertidas en terajoules.

**Emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI):** Los datos de emisiones de GEI fueron obtenidos de los inventarios de cada país. Para Belice se tiene la Primera Comunicación de 1994 y el informe preliminar de la Segunda Comunicación con cálculo de emisiones para 1997 y 2000 (MNRE, 2002; 2007). Por inconsistencia del dato de desechos de 1994, se optó por no utilizar la información de ese año y trabajar únicamente con el informe de la Segunda Comunicación. Costa Rica cuenta con cuatro inventarios de los años 1990, 1996, 2000 y 2005 (MAE y IMN, 1996; IMN y MINAET, 2000; MINAET y IMN, 2009a, 2009b y 2009c; MINAET, 2009).

(continúa)

(continuación Recuadro 12.1)

Los inventarios de El Salvador corresponden a 1994 (Primera Comunicación) y a la revisión del inventario de 2000 realizada en 2009 (MARN, 2000b; 2009). Guatemala reporta inventarios para 1990 y 2000 (MARN, 2001; MARN y PNCC, 2007) y Honduras reporta inventarios para 1995 y 2000 (SERNA, 2000; SERNA, PNCC y PNUD, 2008). Nicaragua tiene sus Primera y Segunda Comunicaciones Nacional de 1994 y 2000, aunque los datos del año 2000 corresponden al informe de actividades habilitantes para la preparación de la Segunda Comunicación (MARENA, 2001; 2008). Panamá cuenta con la Primera Comunicación para las emisiones de 1994 y un reporte preliminar de la Segunda Comunicación para las emisiones del año 2000 (ANAM, 2000 y 2009).

El análisis del modelo IPAT considera las emisiones de los sectores de energía, procesos industriales, agricultura y desechos relevantes para el análisis con consumo de energía, no así las emisiones y absorciones por CUT, a pesar de que este sector causa gran parte de las emisiones. El valor de las emisiones está medido en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes a 100 años de los gases de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

El modelo IPAT requiere asumir supuestos de las trayectorias de crecimiento de la intensidad energética (energía/PIB) y la intensidad de CO<sub>2</sub>e/energía. La intensidad energética mide la cantidad de energía utilizada por unidad de PIB. Así, la magnitud de la intensidad energética y de las diferencias entre países se asocia a la estructura sectorial, sesgada hacia actividades más o menos consumidoras de energía y al grado de eficiencia energética. El coeficiente CO<sub>2</sub>e/energía indica las diferentes tecnologías de producción energética, las cuales pueden causar más o menos contaminación en función de la demanda de energía, o del tipo de energía utilizada. La relación entre CO<sub>2</sub>e y consumo de energía permite identificar patrones de las trayectorias de emisiones.

El análisis de la intensidad de energía/PIB basado en los inventarios estimó un promedio regional de 0,012 terajoules (TJ) por 1.000 dólares de PIB en 2000, equivalente a 2.067 barriles equivalentes de petróleo (BEP) por 1.000 dólares de PIB. Nicaragua, Honduras y Guatemala tenían una intensidad mayor al promedio (entre 0,023 y 0,016 TJ por 1.000 dólares<sup>5</sup>). Los otros cuatro países tenían intensidades entre 0,009 y 0,006 TJ por 1.000 dólares<sup>6</sup> (véase el gráfico 12.7). Las tasas de crecimiento promedio de esta intensidad para el período 1990-2007 han sido negativas en todos los países, menos en Nicaragua, que presentó un aumento de 1% anual promedio. A menudo se encuentra una relación inversa entre PIB per cápita e intensidad energética, si bien resulta insuficiente para reducir el aumento absoluto de consumo de energía.

<sup>5</sup> Equivalentes a entre 3,961 y 2,756 BEP por 1.000 dólares, respectivamente.

<sup>6</sup> Equivalentes a entre 1,550 y 1,033 BEP por 1.000 dólares, respectivamente.

**GRÁFICO 12.7**  
**CENTROAMÉRICA: INTENSIDAD ENERGÍA/PIB, 2000**  
*(En terajoules por mil dólares)*



Fuente: Elaboración propia en base a inventarios nacionales.

La intensidad de CO<sub>2</sub>e/energía regional (sin CUT), según los inventarios de 2000 es de 118 TCO<sub>2</sub>e por terajoule equivalente a 0,685 TCO<sub>2</sub>e por BEP. Los indicadores de El Salvador y Honduras están por debajo de la media regional con 78 TCO<sub>2</sub>e y 94 TCO<sub>2</sub>e. El país con mayor intensidad es Panamá con 145 TCO<sub>2</sub>e, seguido por Nicaragua con 135 TCO<sub>2</sub>e, Belice con 133 TCO<sub>2</sub>e, Guatemala con 120 TCO<sub>2</sub>e y Costa Rica con 117 TCO<sub>2</sub>e por BEP<sup>7</sup> (véase el gráfico 12.8).

**GRÁFICO 12.8**  
**CENTROAMÉRICA: INTENSIDAD CO<sub>2</sub>e (SIN CAMBIO DE USO DE TIERRA)/ ENERGÍA, 2000**  
*(En toneladas de CO<sub>2</sub>e por terajoule)*



Fuente: Elaboración propia en base a inventarios nacionales.

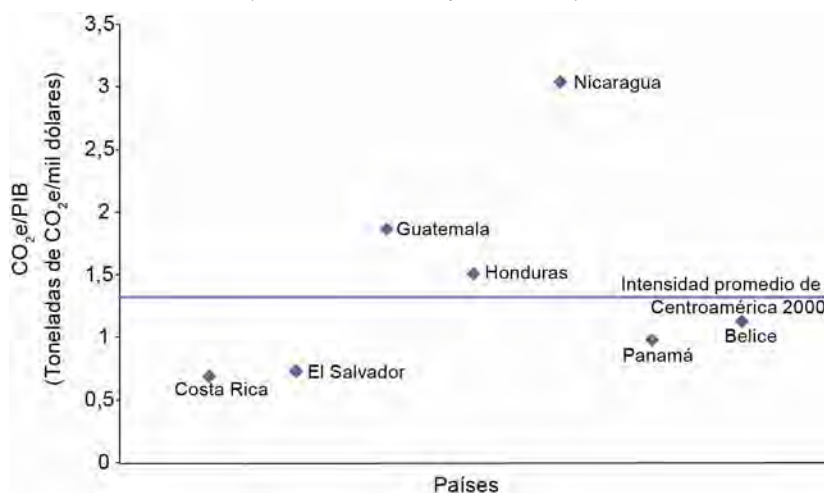
Las intensidades de emisiones de CO<sub>2</sub>e/PIB combinan los dos indicadores anteriores. Este indicador (sin CUT) varía entre 0,7 TCO<sub>2</sub>e por 1.000 dólares producidos en Costa Rica y 3,0 TCO<sub>2</sub>e en Nicaragua, con un promedio regional de 1,4 TCO<sub>2</sub>e al año 2000 (véase el gráfico 12.9). Costa Rica, El

<sup>7</sup> Las cifras equivalentes en TCO<sub>2</sub>e por BEP son: El Salvador: 0,45, Honduras: 0,55, Panamá: 0,84, Nicaragua: 0,78, Belice: 0,77, Guatemala: 0,70 y Costa Rica: 0,68.



Salvador, Honduras, Panamá y Belice presentan mayores tasas de crecimiento del PIB que de emisiones sin CUT, indicando que sus intensidades están reduciéndose paulatinamente. La intensidad  $\text{CO}_2\text{e}/\text{PIB}$  con emisiones netas (emisiones menos absorciones por CUT) tenía el año 2000 un rango entre 14,7 TCO<sub>2</sub>e en Nicaragua y 11,9 TCO<sub>2</sub>e en Belice a 0,3 TCO<sub>2</sub>e en Guatemala, con un promedio regional de 4,5 TCO<sub>2</sub>e por 1.000 dólares de PIB.

**GRÁFICO 12.9**  
**CENTROAMÉRICA: INTENSIDAD  $\text{CO}_2\text{e}$  (SIN CAMBIO DE USO DE TIERRA)/PIB, 2000**  
(En toneladas de  $\text{CO}_2\text{e}$  por mil dólares)



Fuente: Elaboración propia en base a inventarios nacionales.

En emisiones  $\text{CO}_2\text{e}$  per cápita (sin CUT), Panamá y Belice reportan 3,9 TCO<sub>2</sub>e, superior al promedio regional de 2,7 TCO<sub>2</sub>e per cápita anual al 2000. El Salvador presenta el nivel más bajo, 1,5 TCO<sub>2</sub>e. Las tasas de crecimiento de este indicador varían por países. Panamá ha venido disminuyendo sus emisiones por habitante, mientras las de Guatemala han aumentado y las de Costa Rica se han mantenido en tasas cercanas a 0% (véase el gráfico 12.10).

**GRÁFICO 12.10**  
**CENTROAMÉRICA: INTENSIDAD DE  $\text{CO}_2\text{e}$  PER CÁPITA (SIN CAMBIO DE USO DE TIERRA), 2000**  
(En toneladas de  $\text{CO}_2\text{e}$  per cápita)



Fuente: Elaboración propia en base a inventarios nacionales.

Aquí se utiliza el modelo IPAT para construir un escenario tendencial de emisiones al 2100 para el conjunto de países, a partir de las trayectorias de las emisiones reportadas en los inventarios nacionales, el crecimiento demográfico, la tasa de crecimiento del PIB, los valores esperados en la prospectiva energética al 2020 y las estimaciones de consumo futuro de energía (véase el cap. 8). Se consideran las emisiones de los sectores de energía, procesos industriales, agricultura y desechos relevantes, no así las emisiones y absorciones de CUT, que responden a otros procesos. El valor de las emisiones está medido en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes a 100 años de los gases de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. Se espera una ligera mejoría de la tecnología que afectará la evolución de la intensidad energética y la intensidad CO<sub>2</sub>e/energía. Así, el PIB tendría una tasa de crecimiento ligeramente superior a la del consumo de energía y ésta crecerá más rápido que las emisiones de CO<sub>2</sub>e.

El cuadro 12.3 resume los supuestos de las tasas de crecimiento del PIB, la población, la intensidad energética y la intensidad carbónica en los períodos 2008-2020, 2020-2050 y 2050-2100. Los rangos de las tasas de cambio de la intensidad energética para cada país son los siguientes: Costa Rica entre -0,16% y -1,30 %, El Salvador entre -1,17% y -1,81 %, Guatemala entre -1,40% y -2,02 %, Honduras entre -1,9% y -2,01 %, Nicaragua entre -0,41% y -2,32%, Panamá entre -0,76% y -1,39% y Belice entre -0,20% y -1,32%. Para la intensidad CO<sub>2</sub>e/energía, en Costa Rica y Panamá se espera una tasa de cambio de -1% en todo el período de análisis; Belice inicia con una tasa positiva de carbonización de 1,58% en el primer período, la cual se va reduciendo hasta -1,50% en el último período; el resto termina con -1,0% pero inicia con diferentes tasas: Honduras -0,62, Nicaragua y El Salvador 0,12% y Guatemala 0,62%.

**CUADRO 12.3**  
**CENTROAMÉRICA: SUPUESTOS DEL ESCENARIO BASE, 2008 A 2100**

(Tasas de crecimiento anual)

Período	PIB	Población	Energía/PIB	CO <sub>2</sub> e/Energía
<b>Belice</b>				
2008 – 2020	4,1	1,80	-0,20	1,58
2020 – 2050	3,6	1,22	-0,57	-0,67
2050 – 2100	3,4	0,16	-1,32	-1,50
<b>Costa Rica</b>				
2008 – 2020	3,1	1,33	-0,16	-1,00
2020 – 2050	3,2	0,76	-0,32	-1,00
2050 – 2100	3,0	-0,27	-1,30	-1,00
<b>El Salvador</b>				
2008 – 2020	3,2	1,46	-1,47	0,12
2020 – 2050	3,5	1,10	-1,17	-0,33
2050 – 2100	3,5	0,13	-1,81	-1,00
<b>Guatemala</b>				
2008 – 2020	3,5	2,35	-2,02	0,62
2020 – 2050	3,2	1,79	-1,40	0,17
2050 – 2100	3,1	0,20	-1,61	-1,00
<b>Honduras</b>				
2008 – 2020	4,8	1,83	-1,90	-0,62
2020 – 2050	4,2	1,30	-1,99	-0,17
2050 – 2100	4,1	0,20	-2,01	-1,00
<b>Nicaragua</b>				
2008 – 2020	2,2	1,19	-0,41	0,12
2020 – 2050	4,0	0,83	-1,90	-0,67
2050 – 2100	4,0	-0,10	-2,32	-1,00

(Continúa)

(Continuación Cuadro 12.3)

Panamá				
2008 – 2020	2,4	1,39	-0,93	-1,00
2020 – 2050	3,6	0,95	-0,76	-1,00
2050 – 2100	3,0	-0,07	-1,39	-1,00

Nota: Como supuestos del PIB e intensidad energética se tomaron las estimaciones del escenario macroeconómico del proyecto, con excepción del período 2050-2100 para Panamá (3 %). Para Honduras y Nicaragua se tomó el escenario alto del PIB.

Fuente: CEPAL, CELADE y elaboración propia.

Con estos supuestos se realizó el ejercicio del IPAT sobre emisiones sin CUT, obteniendo los siguientes resultados. A nivel regional la tasa de crecimiento anual de emisiones cambiaría de 2,4% en el período 2010-2020 a solo 0,7% en el período 2050-2100. Entre 2010-2020 las tasas de crecimiento anual de los países irían de 1,6% a 5,0%, y entre 2050 y 2100 irían de 0,5% a 1,1% (véase el cuadro 12.4). Panamá tiene la tasa más alta en el período 2000-2010. Belice tendría las tasas de crecimiento más altas para los períodos entre 2010 y 2030. Después las tasas para ambos países se reducirían hasta menos de 1% en la segunda mitad del siglo. El Salvador y Honduras inician con las tasas de crecimiento anual más bajas para 2000-2010, éstas aumentarían entre 2010 y 2050, y aunque disminuirían en el período 2050-2100, serían las más altas de la región en este período. En Costa Rica y Guatemala se espera un crecimiento acelerado durante las dos primeras décadas pero posteriormente ocurriría una disminución paulatina. Nicaragua mantendría tasas de crecimiento constantes en los primeros períodos seguido por una reducción en la segunda mitad del siglo.

**CUADRO 12.4**  
**CENTROAMERICA: PROYECCIÓN DE LAS TASAS DE CRECIMIENTO ANUAL DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub>e**  
**(SIN CAMBIO DE USO DE TIERRA) A 2100**  
*(En porcentaje)*

Período	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Centroamérica
2000-2010	2,35	2,81	1,05	2,64	1,14	1,94	3,59	2,22
2010-2020	5,00	2,22	1,56	1,86	2,19	1,63	2,19	2,38
2020-2030	4,15	1,88	1,53	2,20	1,81	1,81	2,04	2,20
2030-2050	0,80	1,60	1,85	1,87	2,05	1,18	1,23	1,51
2050-2100	0,63	0,73	0,91	0,47	1,06	0,72	0,61	0,73
2000-2100	1,61	1,37	1,24	1,27	1,45	1,13	1,33	1,34

Fuente: Elaboración propia, modelo IPAT.

Estas tasas de crecimiento de las emisiones sin CUT, permiten estimar las trayectorias o líneas base de emisiones a nivel agregado y per cápita. Las emisiones totales aumentarían de aproximadamente 88 millones TCO<sub>2</sub>e en 2000 a 230 millones de TCO<sub>2</sub>e en 2050 y a casi 322 millones de TCO<sub>2</sub>e en 2100. En este año límite, el 36% correspondería a Guatemala, seguida por Honduras (14%), Costa Rica (13%) y Panamá (13%) (véase el cuadro 12.5). En cuanto a las emisiones per cápita sin CUT, el promedio regional subiría de 2,7 TCO<sub>2</sub>e por habitante a 5,9 TCO<sub>2</sub>e por habitante. Al año 2100 Belice presentaría las mayores emisiones per cápita con 9,7 TCO<sub>2</sub>e por habitante, seguido por Panamá 9,0, Costa Rica 8,0, Nicaragua 4,9, Guatemala 3,7, Honduras 3,4 y El Salvador 2,8 TCO<sub>2</sub>e (véase el cuadro 12.6).

**CUADRO 12.5**  
**CENTROAMÉRICA: ESCENARIO TENDENCIAL DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>e**  
**(SIN CAMBIO DE USO DE TIERRA) A 2100**  
*(En toneladas de CO<sub>2</sub>e)*

País	2000	2010	2020	2030	2050	2100
Belize	953 604	1 202 775	1 958 579	2 941 878	3 448 524	4 727 876
Costa Rica	11 100 900	14 646 833	18 240 887	21 977 437	30 187 514	43 358 925
El Salvador	9 599 245	10 654 465	12 434 553	14 474 308	20 876 117	32 890 489
Guatemala	32 182 693	41 764 785	50 208 522	62 414 679	90 494 909	114 179 565
Honduras	10 947 280	12 266 124	15 227 114	18 225 662	27 329 769	46 365 200
Nicaragua	11 981 390	14 521 526	17 076 113	20 435 113	25 863 064	36 982 309
Panamá	11 522 540	16 394 979	20 369 284	24 919 225	31 805 146	43 186 422
Centroamérica	88 287 652	111 451 487	135 515 052	165 388 302	230 005 043	321 690 786

Fuente: Elaboración propia, modelo IPAT.

**CUADRO 12.6**  
**CENTROAMÉRICA: ESCENARIO TENDENCIAL DE CO<sub>2</sub>e PER CAPITA**  
**(SIN CAMBIO DE USO DE TIERRA) A 2100**  
*(En toneladas de CO<sub>2</sub>e)*

País	2000	2020	2050	2100
Belize	3,89	5,40	7,08	9,69
Costa Rica	2,83	3,43	4,85	7,97
El Salvador	1,53	1,45	1,87	2,75
Guatemala	2,87	2,78	3,24	3,70
Honduras	1,76	1,61	2,20	3,39
Nicaragua	2,35	2,49	3,23	4,85
Panamá	3,91	5,10	6,41	9,02
Centroamérica	2,73	3,18	4,13	5,91

Fuente: Elaboración propia, modelo IPAT.

## COSTOS DE MANTENER EMISIONES CONSTANTES RESPECTO AL AÑO 2000 EN EL ESCENARIO TENDENCIAL

A partir de este escenario tendencial se pueden explorar las implicaciones de diferentes metas de reducción de emisiones y analizar los costos asociados. Con el fin de ilustrarlo se calculan los costos en un escenario de mitigación que mantiene las emisiones constantes al nivel del año 2000 mediante la reducción de intensidad carbónica, CO<sub>2</sub>e/energía. Para este ejercicio se mantuvieron las mismas tendencias de crecimiento de población, PIB per cápita e intensidad energética. Para mantener las emisiones constantes, el ejercicio propone las reducciones requeridas en distintos subperíodos. En general, la propuesta consiste en explorar opciones de desarrollo sostenible asociadas a reducciones de intensidades carbónicas o energéticas sin comprometer el derecho a una mejor calidad de vida presente y futura.

El Cuadro 12.7 presenta los requerimientos de reducción de la intensidad carbónica en distintos sub períodos. Los mayores esfuerzos tendrían que hacerse en las primeras décadas de este siglo, ya que se requeriría una reducción de -1,78% a -2,62% para el período 2020-2050. En el período 2050-2100 el esfuerzo de reducción bajaría a un rango entre -1,44% y -2,09%. Belize, Guatemala, Honduras y Nicaragua tendrían que realizar una mayor reducción de la relación de CO<sub>2</sub>e/energía respecto del escenario base. Para Costa Rica y Panamá, en cambio, las tasas de reducción no exigirían cambios muy grandes en relación al escenario base. Para contar con mayores elementos de análisis, es importante comparar las nuevas tasas de descarbonización con las reportadas en el cuadro 12.3, que sirven de insumo para generar el escenario base.

**CUADRO 12.7**  
**CENTROAMÉRICA: TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA INTENSIDAD CARBÓNICA (CO<sub>2</sub>e /ENERGÍA)**  
**ENTRE 2006 Y 2100 REQUERIDA PARA MANTENER CONSTANTES LAS EMISIONES DE GEI AL NIVEL DE 2000**  
*(Porcentaje)*

País	2006 – 2020	2020 – 2050	2050 – 2100
Belize	-2,79	-2,52	-2,09
Costa Rica	-3,28	-2,62	-1,70
El Salvador	-2,31	-2,67	-1,88
Guatemala	-1,49	-1,78	-1,44
Honduras	-3,16	-2,09	-2,02
Nicaragua	-1,99	-2,02	-1,69
Panamá	-2,29	-2,44	-1,59

Fuente: Elaboración propia, modelo IPAT.

Estimando la diferencia entre las trayectorias generadas por el escenario tendencial y el escenario con estabilización a nivel de 2000, se calcula el volumen de emisiones evitadas y se evalúan los costos acumulados de 2006 a 2100 a valor presente neto (VPN) con el PIB de 2008 y tasas de descuento de 0,5%, 2%, 4% y 8%. Los costos son calculados al precio de 10 y 30 dólares por tonelada de carbono como rango del valor futuro de bonos del carbono, reconociendo que existe bastante incertidumbre sobre este mercado a corto plazo (véase el cuadro 12.8). Así, la diferencia entre el escenario base y el de disminución genera un volumen de emisiones que, a diferentes precios, permiten calcular un flujo de gastos que arroja la valuación económica del costo de esta estabilización de emisiones. Este flujo no incluye los de estabilización de las emisiones relacionadas con la deforestación, ni los costos sociales de los esfuerzos para reducir la intensidad carbónica en el escenario base. Existe incertidumbre y dificultad para estimar los costos totales netos de reducciones, especialmente a largo plazo, considerando los esfuerzos sociales y económicos requeridos, no necesariamente reflejados en valores de mercado (véase el cuadro 12.8).

**CUADRO 12.8**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO INICIAL DEL COSTO ACUMULADO ENTRE 2006 AL 2100**  
**DE MANTENER CONSTANTES LAS EMISIONES DE GEI AL NIVEL DE 2000**  
*(En porcentaje del PIB de 2008 a valor presente neto)*

País	Costo por tonelada (dólares)	Costo como porcentaje del PIB			
		Tasa de descuento			
		0.5%	2%	4%	8%
Belize	10	2,70	1,80	1,22	0,71
	30	8,09	5,41	3,65	2,13
Costa Rica	10	1,10	0,67	0,41	0,22
	30	3,29	2,01	1,24	0,67
El Salvador	10	1,13	0,62	0,34	0,15
	30	3,38	1,87	1,01	0,44
Guatemala	10	2,92	1,87	1,18	0,63
	30	8,77	5,62	3,53	1,89
Honduras	10	2,72	1,48	0,82	1,48
	30	8,15	4,45	2,47	4,45
Nicaragua	10	4,05	2,49	1,56	0,90
	30	12,15	7,47	4,69	2,70
Panamá	10	1,24	0,74	0,44	0,21
	30	3,71	2,22	1,31	0,64

Fuente: Elaboración propia, modelo IPAT.



En las condiciones de crecimiento económico futuro estimado, Nicaragua tendría el costo más alto debido al menor tamaño de su PIB, el acelerado consumo de energía previsto para la primera mitad del presente siglo y por su alta intensidad carbónica. Es importante señalar que Nicaragua tiene actualmente la intensidad energética más alta y el segundo nivel de carbonización. Por lo tanto, su nivel de producto está muy asociado al consumo de energía contaminante, lo cual genera más unidades de CO<sub>2</sub>e por unidad de energía, indicando que las tecnologías utilizadas son intensivas en emisiones.

Honduras y Guatemala conformarían un segundo grupo con costos elevados, lo cual se explica en buena medida por la evolución de su intensidad energética y las reducciones esperadas en la relación de CO<sub>2</sub>e/energía. El Salvador y Belice tendrían costos similares. Los costos de mitigación para los países son, pues, diferentes según los requerimientos de reducción de la intensidad energética y descarbonización. Para Costa Rica y Panamá la exigencia de reducción de intensidad de emisiones es menor a la del resto de los países y sus costos son los más bajos a una tasa de descuento de 0,5%. Costa Rica incurriría en menos costos por mitigación en relación con su PIB –uno de los dos más grandes de la región– y requeriría el menor esfuerzo para reducir la intensidad carbónica, pues es la menor en la región. También tiene una baja intensidad energética respecto a los demás países, además de ser una economía limpia de emisiones por unidad de energía.

En resumen, mantener las emisiones constantes implicaría un esfuerzo significativo para acelerar el proceso de descarbonización relativo al previsto en el escenario base. La estabilización exigiría probablemente una reducción no solamente de la intensidad CO<sub>2</sub>e/energía sino del coeficiente energía/PIB, e implicaría cambiar tecnologías de producción hacia las que causan menos contaminación según su nivel de demanda de energía o según el tipo de energía utilizada. Este ejercicio inicial sugiere para los países pequeños resultaría demasiado costoso, como porcentaje del PIB, mantener las emisiones constantes o reducirlas (con tasas de descuento cercanas a cero) porque tendrían que reducir su tasa de crecimiento, especialmente si no cuentan con una estrategia de transición tecnológica efectiva.

## 12.4 OPORTUNIDADES Y COSTOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES CON ESCENARIO A 2030

Entre los métodos prospectivos para analizar la reducción potencial de emisiones futuras están los de curvas de abatimiento marginal o de costos potenciales. Estos análisis son útiles para formular políticas porque identifican los sectores con mayores opciones de inversión para reducir emisiones y las opciones de utilización de los mercados de bonos. Algunas curvas analizan las oportunidades de consumo de energía, pero progresivamente están abarcando las emisiones por agricultura y deforestación, especialmente en países donde estas fuentes son importantes. Por ejemplo, México ha preparado varias curvas de abatimiento con este enfoque (Barthel y otros, 2006; Enkvist, Dinkel y Lin, 2010; SEMARNAT, 2009).

A continuación se presenta el resumen de un ejercicio prospectivo de las opciones de reducción de emisiones a 2030 con una curva de abatimiento para la región. Este ejercicio muestra cómo utilizar este tipo de análisis y permanece abierto a investigaciones adicionales con las instituciones socias del proyecto.

Construir un inventario sectorial suficientemente desagregado para Centroamérica implica conjugar varias fuentes de información y realizar algunos cálculos propios. La tarea se complica por el limitado número de inventarios de GEI para períodos homogéneos y por la incertidumbre

inherente a las emisiones por deforestación. En este ejercicio se ha recurrido a información de CEPAL y OLADE sobre balances de energía, las comunicaciones de los países a la CMNUCC e información de FAO y de diversas entidades públicas y privadas para los factores de emisión. El año de referencia es el 2000, para el que la mayoría de los países han reportado inventarios de emisiones. Así pues, el inventario de emisiones de Centroamérica se construye con una dimensión nacional y otra sectorial, considerando en forma especial el sector eléctrico.

## SECTOR ELÉCTRICO

La electricidad merece atención especial por la magnitud y dinámica de sus emisiones y por ser la fuente principal de las emisiones indirectas industriales, residenciales y de servicios. Éstas deben ser cuantificadas de manera paralela a las de la generación eléctrica en sí para evitar doble contabilidad. Su magnitud depende del consumo y del factor de emisión de cada sistema eléctrico nacional, que está determinado por el tipo de tecnología, plantas de generación, combustibles usados, producción de electricidad total anual y participación relativa de las fuentes. En Centroamérica predomina la hidroelectricidad, seguida de manera creciente por las fuentes térmicas. La cogeneración (biomasa en ingenios) y la geotermia tienen una importancia menor (véase el cuadro 12.9).

**CUADRO 12.9**  
**CENTROAMÉRICA: GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD POR FUENTE, 1985 - 2100**  
(En GWh)

Sector	1985	1990	1995	2000	2010
Hidro	8 000	12 000	10 500	15 000	17 100
Térmica	1 800	1 700	7 500	9 000	15 000
Geotérmico	800	950	1 050	2 000	2 500
Cogeneración	0	0	0	1 500	1 600
Eólico	0	0	0	0	200
Solar	0	0	0	0	0
Total	10 600	14 650	19 050	27 500	36 400

Nota: GWh: Giga Watts hora.

Fuente: Elaboración propia con datos de CEPAL, 2010a y OLADE, 2008. Proyecciones propias a 2010.

**CUADRO 12.10**  
**CENTROAMÉRICA: CONSUMO FINAL DE ELECTRICIDAD, 2007**  
(En GWh)

Sector	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Total
Transporte	0	0	0	0	0	0	0	0
Industria	0	1 981	2 122	2 970	1 305	444	380	9 202
Residencial	0	3 337	1 612	2 370	2 096	700	1 622	11 737
Servicios	0	2 650	543	1 955	1 581	795	3 462	10 986
Primario y otros	0	394	79	0	0	215	0	688
Total	0	8 362	4 356	7 295	4 982	2 154	5 464	32 613
Factor de emisión	759	298	737	778	670	857	713	627

Fuente: Elaboración propia con datos de la CEPAL, 2010a y OLADE, 2008.

El factor promedio (ponderado) calculado para la región es de 627 toneladas por GWh<sup>8</sup>. Aplicando los factores de emisión al consumo de electricidad se puede obtener el inventario de emisiones correspondiente, como se reporta en el cuadro 12.11.

**CUADRO 12.11**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO DE EMISIONES DE GEI INDIRECTAS POR CONSUMO DE ELECTRICIDAD, 2007**  
(En miles de toneladas de CO<sub>2</sub>)

Sector	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Total
Transporte	ND	0	0	0	0	0	0	0
Industria	ND	590	1 564	2 311	874	381	271	5 991
Residencial	ND	994	1 188	1 844	1 404	600	1 156	7 187
Servicios	ND	790	400	1 521	1 059	681	2 468	6 920
Primario y otros	ND	117	58	0	0	184	0	360
Total	ND	2 492	3 210	5 676	3 338	1 846	3 896	20 458

Nota: No hay coincidencia entre las emisiones por consumo de electricidad y las imputables a la industria eléctrica en el inventario de emisiones debido a diferencias en los períodos de estimación (2000 y 2007), factores de emisión utilizados, importaciones, exportaciones, autoconsumo y pérdidas.

Fuente: Elaboración propia.

En Guatemala y El Salvador, el sector industrial concentra la mayor parte de las emisiones indirectas por consumo de electricidad, seguido por el sector residencial. En Panamá y Nicaragua el sector de servicios es el principal demandante, seguido por el sector residencial. Las emisiones de Honduras y Costa Rica se concentran en el sector residencial y en el de servicios. En volumen, Guatemala es el principal emisor con 28%, seguida por Panamá con 19%, Honduras y El Salvador con 16%, Costa Rica con 12% y Nicaragua con 9%.

En función de estos cálculos se puede generar un inventario de emisiones al año 2000 que identifique las emisiones por electricidad. En el cuadro 12.12 y el gráfico 12.11 se aprecian rasgos comunes regionales de las emisiones ajustadas con las de electricidad, aunque hay especificidades nacionales que deben resaltarse. El sector con mayores emisiones es el agropecuario con 48% de este subtotal regional (sin CUT), debido principalmente a las emisiones de metano por digestión entérica, manejo de estiércol en unidades ganaderas y cultivo de arroz. Se incluye óxido nitroso como resultado de la desnitrificación de suelos agrícolas por la aplicación de fertilizantes nitrogenados en cultivos. Los volúmenes de las emisiones de metano y de óxido nitroso son relativamente pequeños, pero su potencial de GEI es mayor que el de CO<sub>2</sub><sup>9</sup>. Las emisiones del transporte son las segundas en importancia con 19% y comprenden básicamente las de vehículos automotores de combustión interna de gasolina y de diesel.

Las emisiones por generación de electricidad tienen un peso relativo de 9% sin CUT. Es importante señalar que este concepto registra las emisiones a partir de combustibles fósiles. Costa Rica presenta el nivel más bajo, excluyendo a Belice, debido a que su generación es básicamente hidroeléctrica. Las emisiones industriales, atribuibles mayoritariamente a la descarbonización de la caliza en la manufactura de clinker por la industria cementera, son notables en todos los países. Las emisiones de metano por manejo de residuos urbanos/municipales (deshechos) contribuyen con 5% de este subtotal de emisiones.

<sup>8</sup> Se utilizaron los factores de emisión por fuente de energía y la metodología del IPCC para los proyectos mecanismo de desarrollo limpio (MDL).

<sup>9</sup> De 23 y 310 veces, respectivamente, con relación al CO<sub>2</sub>.

**CUADRO 12.12**  
**CENTROAMÉRICA: INVENTARIO DE EMISIONES AJUSTADO CON ELECTRICIDAD, 2000**

*(En miles de toneladas de CO<sub>2</sub>e)*

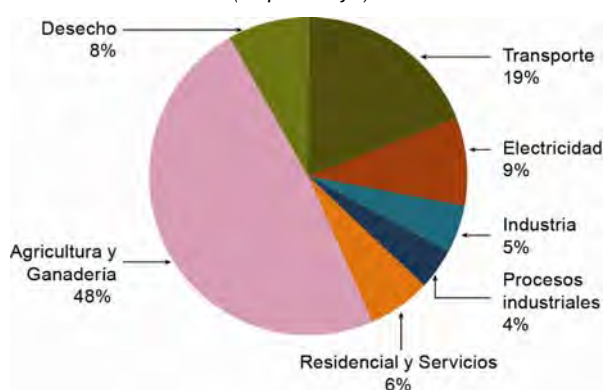
Sector	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Total
Transporte	429	3 061	2 287	4 513	2 094	1 235	2 783	16 402
Electricidad	93	562	1 107	2 513	1 008	1 446	901	7 630
Industria	47	725	1 297	1 331	335	449	0	4 184
Procesos industriales	0	450	444	1 235	690	306	433	3 558
Residencial y servicios	40	202	420	920	361	395	3 119	5 457
Agricultura y ganadería	244	4 609	2 512	19 471	4 442	7 101	3 204	41 583
Desechos	40	1 237	1 263	1 049	1 738	652	1 081	7 060
Subtotal sin deforestación	893	10 846	9 330	31 032	10 668	11 584	11 521	85 874

Fuente: Elaboración propia con datos de los inventarios nacionales de 2000, CEPAL, OLADE y FAO.

Por país, las emisiones de Guatemala son las más significativas con el 36% del subtotal, en buena medida por la agricultura y ganadería, el transporte y la generación de electricidad (véase el gráfico 12.12). Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá y El Salvador presentan volúmenes similares de emisión, mientras que los de Belice son los menores.

**GRÁFICO 12.11**  
**CENTROAMÉRICA: ESTRUCTURA PORCENTUAL DE LAS EMISIONES DE GEI POR SECTOR SIN DEFORESTACIÓN, 2000**

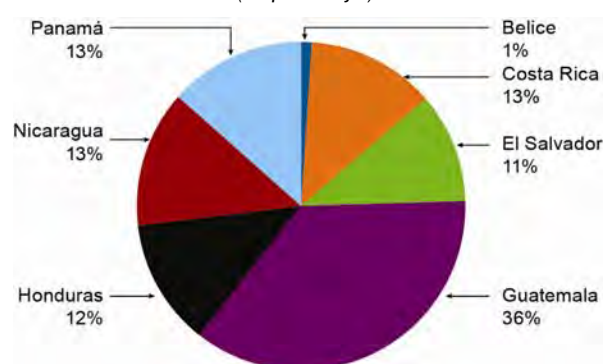
*(En porcentajes)*



Fuente: Elaboración propia con los inventarios de GEI de cada país.

**GRÁFICO 12.12**  
**CENTROAMÉRICA: ESTRUCTURA PORCENTUAL DE LAS EMISIONES DE GEI POR PAÍS SIN DEFORESTACIÓN, 2000**

*(En porcentajes)*



Fuente: Elaboración propia con los inventarios de GEI de cada país.

Otra fuente de emisiones de especial atención es el CUT. Este sector se caracteriza por complejidades sociales, económicas y ecológicas. Existen incertidumbres sobre la tasa de deforestación y el contenido carbónico de diferentes tipos de bosques y hay diferentes dinámicas de emisión y absorción dependiendo del país. Finalmente, diversas fuentes, estimaciones y metodologías dificultan las comparaciones entre países y períodos. En Nicaragua, Guatemala, Honduras y probablemente El Salvador, el uso de leña como fuente de energía es una práctica extensiva, pero hay grandes incertidumbres sobre volúmenes e impacto en la deforestación.

Para estimar las emisiones de este sector al año 2000 se partió de la información reportada por los inventarios nacionales de ese año. La información proviene de diferentes fuentes nacionales e internacionales, las cuales identifican diversas incertidumbres. Para corroborar estas estimaciones se tomaron en cuenta las orientaciones sobre contenido de carbono en los bosques tropicales, los factores de conversión del IPCC (2000a) y estimaciones de expertos regionales (Alpizar, 2008). Se revisaron también las estimaciones del Banco Mundial (2009) y FAO (2005). Así, se estimó que aproximadamente 350.000 hectáreas fueron deforestadas en los siete países de Centroamérica alrededor del año 2000, cifra reportada también por la CCAD y SICA (2010) en su estrategia regional de cambio climático. Este nivel de deforestación es la causa de aproximadamente 250 millones TCO<sub>2</sub>e, 74% del total de emisiones brutas.

### EMISIONES BAJO UN ESCENARIO TENDENCIAL AL 2030

A partir de este inventario de emisiones por sectores es posible realizar proyecciones al año 2030, suponiendo tasas de crecimiento sectoriales en cada país y una situación sin cambio sustancial en los patrones de consumo de energía. Estas proyecciones permiten identificar los sectores y políticas con potencial de reducción de emisiones de GEI y posibles cobeneficios relacionados con la adaptación y el desarrollo sostenible. Este análisis contribuye, entonces, a aportar elementos de juicio sobre oportunidades de reducción de emisiones para la propuesta de adaptación sostenible. Desde luego que estas estimaciones están sujetas a consideraciones de dinámica económica, precios relativos, población, comportamientos inerciales y penetración de nuevas tecnologías. Así, se asumen las tasas de crecimiento de los sectores del estudio “La economía del cambio climático en Centroamérica” para los años de corte de 2010, 2020 y 2030 (véase el cap. 2). El año 2020 tiene un significado práctico y político, pues corresponde al final del período de compromiso para el cual se negocia el régimen post-Kioto.

Los resultados deben tomarse como análisis prospectivo básico, ya que los inventarios son de hace diez años y es probable que después del 2020 se acelere la adopción de nuevas tecnologías (vehículos eléctricos, energía solar y eólica, iluminación y maquinaria eficiente, entre otros), cuyas implicaciones y desempeño no podrían proyectarse sin excesiva incertidumbre. Ejercicios prospectivos a más largo plazo requerirían al menos contar con inventarios consistentes y actualizados al año 2010. Adicionalmente, se asume que la estructura de generación de electricidad se mantiene relativamente estable y así el factor de emisión del sector eléctrico. Por todo ello, las cifras al 2030 deben tomarse como base de análisis prospectivo.

No obstante, las proyecciones permiten identificar los sectores y políticas con potencial de reducción de emisiones de GEI y posibles cobeneficios relacionados con la adaptación y el desarrollo sostenible. Estos resultados de la proyección del escenario base al 2030 de los siete sectores, incluyendo la generación de electricidad y sin CUT, se reportan en el cuadro 12.13 y los gráficos 12.13 y 12.14. En el año 2030, estas emisiones superarían los 230 millones de TCO<sub>2</sub>e, aproximadamente 2.5 veces más que lo estimado al 2000, crecimiento debido fundamentalmente al sector agropecuario. Las emisiones de este sector aumentarían de 41.6 millones de TCO<sub>2</sub>e a 95.9. El consumo de combustibles por el transporte automotor podría resultar en emisiones que aumentarían de 16.4 millones de TCO<sub>2</sub>e a 49.1 en 2030. Las emisiones por generación de electricidad inician con un estimado de 7.6 millones de TCO<sub>2</sub>e y terminarían el período con 39.1. Guatemala seguiría encabezando las emisiones en el 2030 con 37% y todos los países mantienen una participación equivalente o muy cercana a la del año 2000 (véanse los gráficos 12.13 y 12.14).

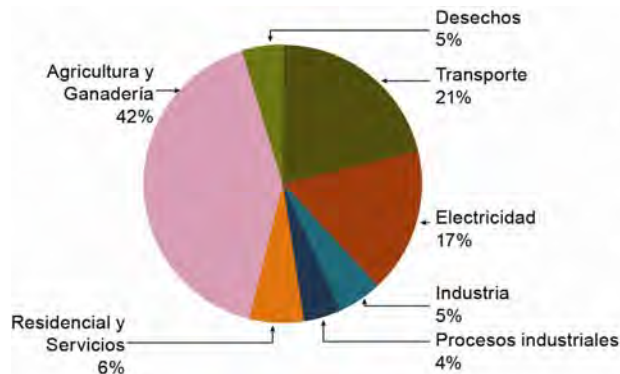


**CUADRO 12.13**  
**CENTROAMÉRICA: ESTIMADO DE EMISIONES DE GEI, 2030**  
*(En miles de toneladas de CO<sub>2</sub>e)*

Sector	Belice	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	Total
Transporte	1 313	9 646	6 419	13 816	7 195	3 568	7 160	49 117
Electricidad	477	2 882	5 676	12 886	5 169	7 415	4 620	39 124
Industria	171	2 035	3 971	3 525	1 151	1 059	0	11 911
Procesos industriales	0	1 263	1 359	3 271	2 371	721	1 021	10 006
Residencial y servicios	134	535	1 179	2 658	1 240	829	8 024	14 599
Agricultura y ganadería	747	10 866	3 812	47 261	11 428	14 465	7 336	95 916
Desechos	65	1 718	1 861	2 015	2 798	905	1 546	10 908
Subtotal sin deforestación	2 906	28 944	24 277	85 433	31 351	28 962	29 708	231 580

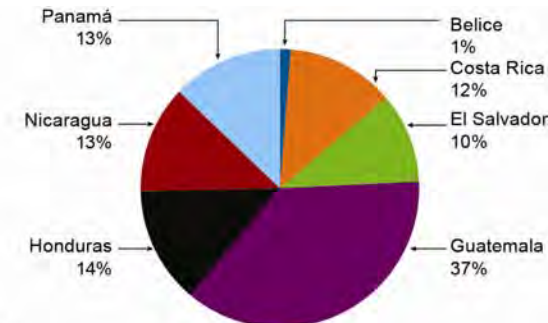
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO 12.13**  
**CENTROAMÉRICA: ESTRUCTURA SECTORIAL DE LAS EMISIONES DE GEI ESTIMADAS SIN CAMBIO DE USO DE TIERRA, 2030**  
*(En porcentajes).*



Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO 12.14**  
**CENTROAMÉRICA: ESTRUCTURA POR PAÍS DE LAS EMISIONES DE GEI ESTIMADAS SIN CAMBIO DE USO DE TIERRA, 2030**  
*(En porcentajes)*

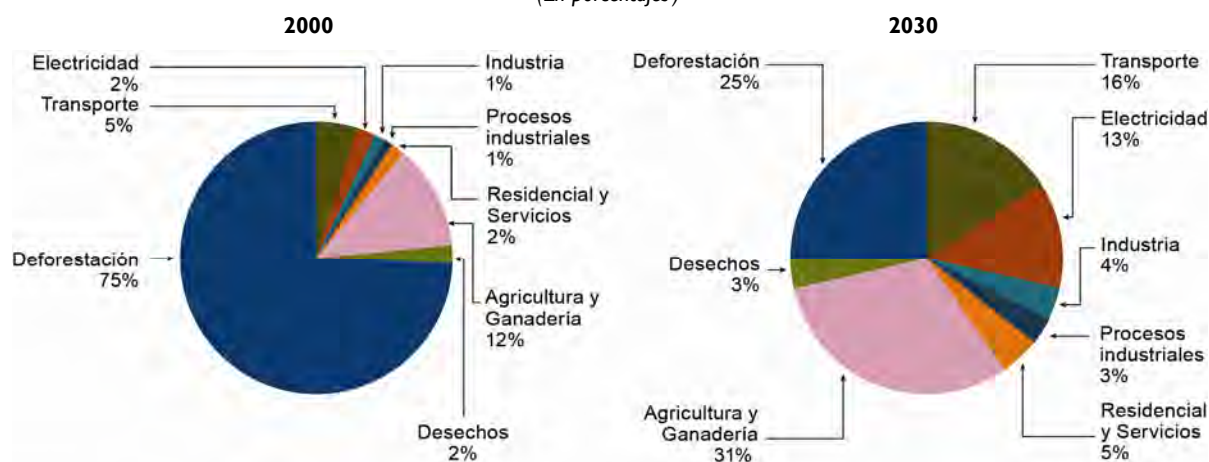


Fuente: Elaboración propia.

Para estimar las emisiones por deforestación en el escenario base de 2030 se interpolaron las tasas de deforestación estimadas del período 2000-2005 con las tasas de 2020 y 2030 estimadas en el escenario base de CUT reportado en el capítulo 3. La tasa regional de deforestación entre 2000-2005 se estimó en 1,5%. Según el escenario base de CUT, esta tasa promedio se reduciría a 0,7% para 2030. Con estos supuestos se estima que la deforestación en 2030 podría ser de aproximadamente 109.000 hectáreas, resultando en emisiones de aproximadamente 77.600 millones de TCO<sub>2</sub>e. No se realizaron estimaciones de absorción futura dada su incertidumbre y porque el ejercicio busca identificar oportunidades para reducir emisiones. No obstante, es un elemento importante que amerita mayor investigación. Igualmente, habrá que revisar estas estimaciones iniciales con expertos nacionales y regionales y considerar los resultados del estudio actualmente en ejecución sobre el impacto del cambio climático sobre ecosistemas, incluyendo los bosques.

En resumen, en este escenario tendencial las emisiones brutas totales anuales podrían llegar a aproximadamente 310 millones de TCO<sub>2e</sub> en 2030, poco menos que los 336 millones de TCO<sub>2e</sub> estimados para el año 2000. Las emisiones conjuntas de los sectores de transporte, electricidad, procesos industriales, residencial y servicios, agricultura y ganadería y desechos habrían aumentado de 88 millones de TCO<sub>2e</sub> en 2000 a más de 230 millones en 2030, debido fundamentalmente al consumo de combustibles por el transporte automotor y a las emisiones de metano y óxido nitroso del sector agropecuario. Las emisiones por deforestación podrían reducirse de 74% en 2000 a 25% del total en 2030, siendo sobrepasadas por las del sector agropecuario con 31%. Aumentarían las emisiones de los demás sectores, especialmente transporte y electricidad, que arrojarían 16% y 13% del total (véase el gráfico 12.15). Comparando estas proyecciones con las de emisiones brutas globales, las primeras podrían representar 0,5% hacia el año 2030, es decir, 310 millones de 64.100 millones de TCO<sub>2e</sub> (OCDE, 2008).

**GRÁFICO 12.15**  
**CENTROAMÉRICA: ESTRUCTURA SECTORIAL DE LAS EMISIONES DE GEI ESTIMADAS**  
**CON CAMBIO DE USO DE TIERRA, 2000 Y 2030**  
 (En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

## OPORTUNIDADES Y COSTOS SECTORIALES DE REDUCCIÓN DE EMISIONES AL 2030

La estimación de un escenario tendencial de emisiones a 2030 permite explorar las posibilidades y costos de reducción de emisiones en perspectiva regional. Las mayores oportunidades aparecen en los sectores con mayores emisiones: agropecuario, deforestación, transporte y electricidad. Pero es preciso introducir variables tecnológicas y económicas para evaluar las posibles medidas de mitigación. A continuación se presenta una primera exploración de estas opciones, a ser discutidas y validadas con los expertos nacionales y regionales.

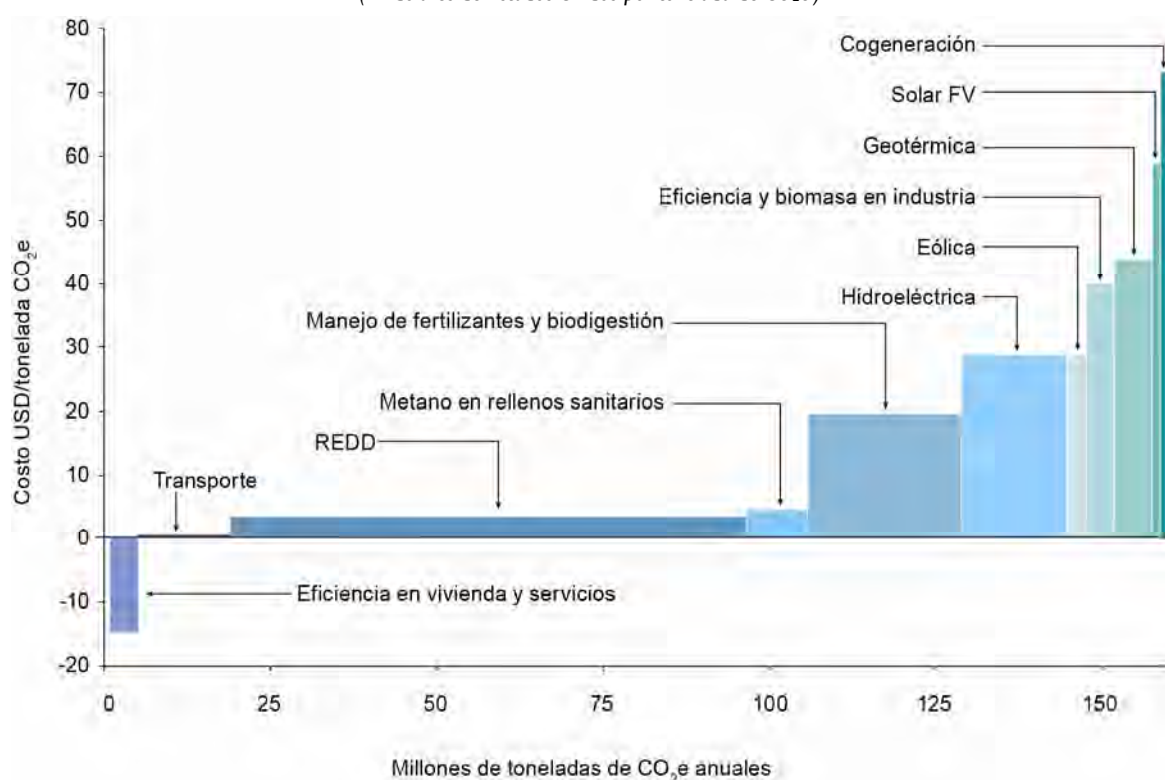
Las decisiones de política nacional y estrategia regional sobre la oportunidad y el costo de reducir emisiones tendrán que tomar en cuenta la evolución de los acuerdos internacionales y otras iniciativas regionales, bilaterales o unilaterales en la materia como, medidas comerciales, mecanismos de financiamiento y acceso a y promoción de tecnología. Los países de la región tienen experiencia en reducción de emisiones por medio del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Hasta agosto de 2010, el MDL reportó 49 proyectos aprobados, siete rechazados/retirados y uno en proceso. En general, los proyectos aprobados son del sector energético: 23 para hidroeléctricas y otros para energía eólica y geotérmica. Varios proyectos involucran generación de energía con bagazo de caña, aceite de palma y

biomasa. Hay ocho proyectos relacionados con rellenos sanitarios y aguas residuales, incluyendo uno para composta. Los países con mayor número de proyectos aprobados son Honduras y Guatemala. Belice no tiene proyecto alguno hasta esta fecha (véase anexo 1).

En este escenario tendencial, el estudio ha identificado opciones de mitigación, considerando los volúmenes sectoriales y sus características tecnológicas. Para cada sector se delinea un horizonte de costos incrementales o marginales, conjugado con las diferencias sectoriales entre el escenario tendencial y el de reducción de emisiones. Para estimar los costos se combinan dos enfoques inductivos: análisis de diversos parámetros y condiciones económicas, tecnológicas e institucionales por sector para obtener criterios de costo y análisis de costos marginales de reducción, suponiendo tecnologías de impacto y costo ascendente de reducción de emisiones, lo cual supone precios de carbono crecientes. Ambos enfoques se aplican a volúmenes potenciales de reducción.

Este análisis técnico arroja una serie de opciones de descarbonización en eficiencia energética, transporte, reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD), rellenos sanitarios, agricultura y generación de electricidad. Probablemente los campos con mayores beneficios potenciales son energía y REDD. Los parámetros de costo presentados no incluyen consideraciones de ingresos derivados de la comercialización de Certificados de Reducción de Emisiones (CER) o bonos de carbono. El gráfico 12.16 ilustra la relación secuencial entre costos promedio y reducciones potenciales de emisiones hacia el 2030, la cual se podría interpretar como “curva” de costos marginales de reducción de emisiones para la región.

**GRÁFICO 12.16**  
**CENTROAMÉRICA: MODELAJE INICIAL DE UNA CURVA DE COSTOS MARGINALES**  
**DE REDUCCIÓN DE EMISIONES GEI, 2030**  
*(En dólares de Estados Unidos por tonelada de CO<sub>2</sub>e)*



Fuente: Elaboración propia.

## EFICIENCIA ENERGÉTICA

En la literatura analizada, la eficiencia energética del sector residencial y de servicios, fundamentalmente en iluminación y aire acondicionado, presenta costos negativos de reducción de emisiones. El costo negativo se deriva de ahorros significativos en facturas eléctricas que, a lo largo del tiempo y descontados a tasas razonables, ofrecen un valor presente positivo, considerando el costo de inversión en equipo e instalaciones de eficiencia o energía renovable. En la vivienda nueva hay un conjunto de oportunidades en diseños bioclimáticos, calentamiento solar de agua, lámparas, equipo de aire acondicionado y otros electrodomésticos de alta eficiencia, aislamiento térmico y generación de electricidad fotovoltaica.

En el sector industrial numerosos ingenios azucareros registran avances significativos en uso de biomasa (bagazo de caña) en calderas y como sustituto de combustibles fósiles. Varios países, especialmente Guatemala desde finales de los años ochenta, han dado el paso hacia la cogeneración y existen oportunidades significativas en eficiencia energética (calderas de alta presión). En la industria cementera no existen alternativas considerables para reducir emisiones a partir de la utilización de escorias o cenizas en sustitución del carbonato de calcio para la fabricación de clinker<sup>10</sup>, pero se atisban opciones de eficiencia energética, uso de biomasa, y cogeneración; sólo Costa Rica registra algún avance a través del MDL. En Costa Rica, Guatemala, Nicaragua y Panamá, que tienen refinerías de petróleo, sería factible pensar en eficiencia energética y cogeneración en esta rama. La manufactura de vidrio en Costa Rica y Guatemala tiene avances significativos en eficiencia energética. En la fabricación de cerveza puede haber oportunidades de eficiencia, de cogeneración y uso de biomasa como combustible. En general, la industria presenta opciones de eficiencia energética en motores eléctricos y calderas.

## TRANSPORTE

Por su volumen potencial de reducción y su costo (de al menos cero), el transporte es crucial. CEPAL estima tasas de crecimiento anual de 4% del consumo de combustibles para automotores, excepto para Panamá, poco mayor a 3%. Si la tasa de crecimiento de emisiones en este sector se redujera a 2% hacia el 2030, habría una reducción de seis millones de TCO<sub>2</sub>e anuales respecto a la proyección de la línea base. Los posibles instrumentos son un impuesto al carbono<sup>11</sup>, que tendría que considerar el peso de los impuestos a la gasolina en la recaudación fiscal y/o un esquema de normas de emisión de CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido. Esta última medida consideraría normas de eficiencia de los países y empresas fabricantes y el cambio tecnológico a favor de autos eléctricos.

El parámetro clave es la elasticidad de la demanda. A largo plazo, la elasticidad podría ser mayor por la opción de renovación del parque vehicular y de cambios notables en la oferta del transporte público, incluyendo sistemas de autobuses rápidos confinados. Se podrá evaluar la opción de establecer un plan de actividades regional para financiar estas acciones con fondos multilaterales o del mercado de carbono.

De estos esfuerzos resultarían importantes cobeneficios como reducción de otros contaminantes atmosféricos en zonas urbanas, con efectos positivos en la salud de la población, ahorro de energía, incentivos para mejorar la estructura urbana en términos de densidad y diversidad de uso de suelo.

<sup>10</sup> En Guatemala se realizan pruebas con arena volcánica para estimar su efecto en emisiones.

<sup>11</sup> Dos opciones son: homologar progresivamente los precios de todos los países centroamericanos con los vigentes en Costa Rica o establecer un impuesto al carbono. Como las emisiones del consumo por litro de gasolina o de diesel son de 2,5 kg de CO<sub>2</sub> ante un costo de 100 dólares por tonelada CO<sub>2</sub>, el nivel del impuesto por litro sería de 0,25 de dólar.

## REDUCCIÓN DE EMISIONES POR DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN Y CAPTURA DE CARBONO

La disminución de la deforestación y degradación sería un avance socioeconómico y ambiental mayor con beneficios para la biodiversidad y los servicios ambientales, incluyendo abastecimiento de agua, protección de cuencas hidroeléctricas, ecoturismo y producción agropecuaria. Este sector presenta la oportunidad y el reto de establecer una nueva institucionalidad, con potencial de abatir las tasas históricas de deforestación y pobreza rural. Se resolvería así el dilema entre subsistencia y conservación, sobre todo si se toman medidas de adaptación con medios de vida sostenibles y servicios básicos para la población que convive con los bosques. Al mismo tiempo, reducir las emisiones por deforestación y degradación es probablemente la mayor contribución que la región puede hacer a los esfuerzos globales de mitigación, con un considerable potencial de volumen y a costos relativamente bajos.

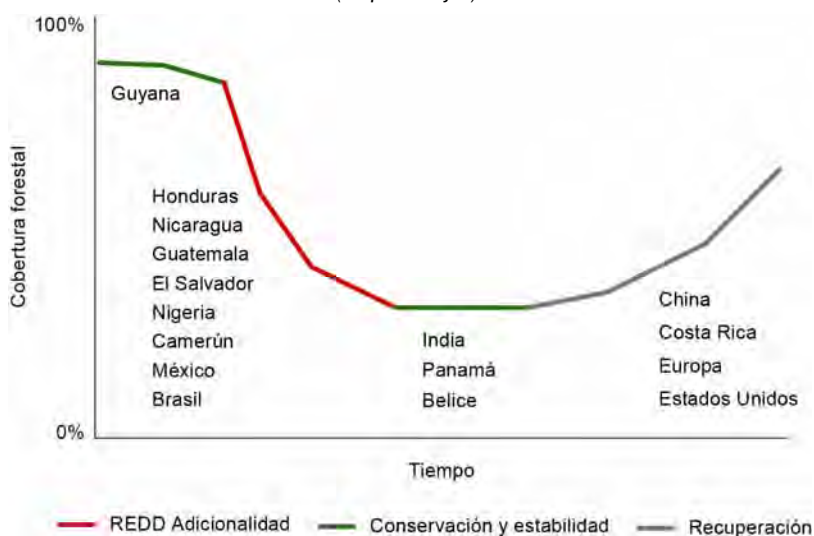
No obstante, los retos institucionales, sociales, de ordenamiento territorial y de incentivos económicos correctos son significativos. La agenda regional incluye la protección de los derechos de los pueblos indígenas y otras comunidades que conviven con los bosques—no siempre con titulación formal ni espacios de negociación—, las relaciones de poder en las fronteras agrícolas, la tala ilegal y las actividades ilícitas en algunas zonas. Adicionalmente habrá que establecer escenarios tendenciales realistas de CUT y emisiones-absorciones y tener un mecanismo para evaluar el impacto del cambio climático en los bosques y su acervo de carbono y las pérdidas por eventos extremos como huracanes y sequías. La posibilidad de un acuerdo internacional sobre REDD es objeto de intensas negociaciones, complejos intereses e incertidumbres científicas.

Existen dos enfoques de escala para el desarrollo de REDD, uno por proyecto o sub-nacional, y otro nacional, con una versión híbrida o enfoque anidado. Las dificultades técnicas, institucionales y de política pública para establecer un sistema nacional son considerables: definición de líneas base de emisiones futuras y su seguimiento, creación de fondos y fidecomisos, determinación de derechos de propiedad sobre la tierra y el carbono, establecimiento y operación de áreas naturales protegidas (ANP) y esquemas de pago por servicios ambientales (PSA). Otro reto es la integridad ambiental anulada por las fugas (*leakage*), es decir, el riesgo de que la reducción o eliminación de la deforestación en un área geográfica se desplacen a otras, lo que neutralizaría el avance. Se tendrá que llegar a acuerdos y crear mecanismos para la acreditación de bonos y transferencia de ingresos a proyectos particulares, y decidir qué hacer cuando un programa nacional no logra sus metas, pero algunos proyectos sí. El enfoque anidado puede ayudar al trazar una línea base o nivel de referencia nacional para el avance de proyectos individuales y al crear un colchón o *buffer* de bonos REDD administrado por el gobierno a ser compensado con adquisiciones en el mercado internacional.

Hay también retos técnicos de no permanencia, fugas y agregación. Éste es un concepto elusivo que exige una consideración contrafactual de lo que ocurriría en ausencia de un proyecto o una actividad determinada. Un instrumento para mitigar este problema es la curva de transición forestal, donde todo proyecto desarrollado en un país ubicado en la parte de la curva con pendiente negativa sería automáticamente adicional, por ejemplo en Belice, Honduras, Guatemala, Nicaragua y El Salvador. Para evitar incentivos perversos, será indispensable exigir ante la CMNUCC adoptar mecanismos de premio y compensación a países exitosos en materia de conservación, como es el caso de Costa Rica y probablemente Panamá en el futuro (véase el gráfico 12.17).



**DIAGRAMA 12.2**  
**PROPUESTA DE CURVA DE TRANSICIÓN FORESTAL**  
 (En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

Si se establece un acuerdo de financiamiento o un mercado internacional de REDD con reglas del juego e incentivos económicos adecuados, como precios previsibles por tonelada de CO<sub>2</sub>, será factible plantear la meta de un esfuerzo adicional y voluntario de mitigación con tasa de deforestación neta cero (unidades de flujo considerando deforestación y reforestación), o bien la conservación del acervo regional forestal de carbono (unidades de *stock*). Al respecto es preciso anticipar algunos principios, necesidades de política y de desarrollo institucional. Si este mercado no tuviera un aumento significativo de las metas de los países del Anexo 1 de la CMNUCC, abatiría el precio de los bonos por sobreoferta, lo cual frenaría la descarbonización de las economías con mayores emisiones.

Un primer estimado del costo de la oportunidad perdida de no deforestar podría partir de los precios promedio de los granos básicos cultivados, de la producción ganadera en zonas de deforestación o de la producción de madera. Otro enfoque subraya el valor constante de los servicios ambientales si se evita la deforestación. Esto sin considerar los cobeneficios de la reducción de la deforestación, que si fuese objeto de rigurosa valuación económica podría arrojar costos netos negativos a mediano plazo, particularmente si se generan avances complementarios en reducción de la pobreza rural y desarrollo de medios de vida sostenibles mediante la adaptación y reducción de vulnerabilidades.

La dinámica de la deforestación, los costos estimados para REDD y el potencial existente de reducciones sugieren oportunidades significativas mediante la oferta voluntaria de alcanzar una tasa de deforestación neta cero para el 2030, logrando un balance entre áreas deforestadas y áreas objeto de reforestación y restauración ecológica verificables. Ciertamente alcanzar esta meta requeriría múltiples y coordinados esfuerzos para superar los retos identificados en esta sección.

## METANO EN RELLENOS SANITARIOS

La descomposición anaeróbica de la basura municipal en tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios es fuente de metano abundante. Reducir sus emisiones es factible mediante sistemas de colección y destrucción o aprovechamiento de biogás en rellenos sanitarios. Dada la acelerada



urbanización prevista para la región, el manejo de residuos municipales representaría un desafío y una oportunidad relevantes. Se trata de ampliar las iniciativas actuales, crear una red moderna de rellenos sanitarios e instalar sistemas de captura de metano para su aprovechamiento en la generación de electricidad. Los cobeneficios incluyen la disminución de riesgos a la salud por exposición directa a los desechos y por filtración de contaminantes a fuentes de agua, disminución de riesgos de incendios y de emisiones de compuestos tóxicos, eliminación de olores y mejoramiento del paisaje.

## AGRICULTURA Y GANADERÍA

Las fuentes de emisión de este sector obedecen a procesos complejos de múltiples actores. Aunque hay posibilidades de mitigación, su traducción en instrumentos de política es compleja y los resultados serían difíciles de monitorear y verificar. La reducción de emisiones implica, por un lado, cualquier medida que acelere el proceso de fotosíntesis, que evite o retarde el retorno a la atmósfera del carbono almacenado en el suelo o en la materia vegetal mediante la respiración vegetal, el fuego o la erosión. Hasta ahora no hay metodologías establecidas para determinar el balance neto de la absorción y la emisión de GEI en este sector, pero es un tema de suma importancia para la región que amerita mayor atención en futuros análisis.

Reducir emisiones en este sector requiere prácticas de manejo eficiente de nitrógeno en los cultivos, reducción del fuego y la erosión, cambio de forrajes y evitar condiciones anaeróbicas, captura de metano en el manejo de excretas, labranza cero, manejo adecuado de residuos agrícolas, cultivo de arroz en terrenos no anegados, agroforestería, drenado y ventilación de suelos con alto contenido orgánico en condiciones anaeróbicas (turbas), control de excretas y orina en potreros de ganadería extensiva.

Reducir las emisiones del metano por fermentación entérica y manejo de excretas en la ganadería implica medidas complicadas cuyos resultados suelen ser ambivalentes (alimentos balanceados para el ganado en vez de libre pastoreo e incorporar ciertos antibióticos, sustancias halogenadas, taninos, hormonas, vacunas, etc). Lo único capaz de ofrecer resultados tangibles es la biodigestión de excretas cuando éstas se disponen en lagunas, pero sólo es aplicable en instalaciones ganaderas tecnificadas.

La reducción de emisiones de  $N_2O$  por desnitrificación en tierras agrícolas implicaría limitar el uso de fertilizantes. Se ha propuesto la rotación de cultivos mediante la utilización de leguminosas para prescindir de los fertilizantes nitrogenados. No obstante, el nitrógeno atmosférico fijado por las propias leguminosas también puede ser objeto de transformación a  $N_2O$ , por lo que el efecto neto requiere de análisis más detallados en función de circunstancias particulares de manejo. La situación de otras prácticas (labranza cero, cobertura vegetal transitoria y drenado recurrente de arrozales, entre otras) es similar.

En este ejercicio se consideraron las opciones de políticas de gestión de fertilizantes y de estabulación y tecnificación de ganado para el control de excretas en biodigestores con destrucción o aprovechamiento de metano. Como estimado inicial se propone reducir las emisiones del sector en 20 millones de  $CO_2e$  en el 2030. Algunos cobeneficios de estas medidas serían la reducción de contaminantes como nitratos y descargas de excretas en cuerpos de agua, mayor producción de electricidad, posibles reducciones en costos y mayor competitividad.

Es recomendable ubicar estos esfuerzos en el marco de la adaptación sostenible del sector, con atención a las oportunidades de reducir no solo emisiones de GEI, sino de aumentar la eficiencia del uso de recursos naturales como el agua, reducir la deforestación atribuible a la expansión agrícola e implementar métodos de recuperación de suelos y protección de servicios ambientales conexos.

## GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

La generación de electricidad con fuentes renovables o de emisiones cero exige grandes gastos de inversión, por lo que su costo de inversión inicial es relativamente alto, aunque su operación sea mucho más manejable que las fuentes convencionales por prescindir de combustibles fósiles y su respectiva factura de importación. No obstante, sería importante reducir el factor de emisión del sistema eléctrico por su participación relativamente alta en los inventarios nacionales y por las ventajas de diversificar con fuentes renovables de muy bajo costo de operación. El factor de emisión del sistema eléctrico explica una parte considerable del volumen de las emisiones indirectas de otros sectores como la industria, el sector doméstico y los servicios.

Hay amplias posibilidades de reducir el factor de emisión del sistema eléctrico de la región, como los ilustran los escenarios de la Estrategia Energética Sustentable Centroamericana 2020. El escenario III de esta estrategia prevé construir y operar un conjunto de proyectos hidroeléctricos de diversas capacidades. En 2020, la generación dependería de recursos hídricos en 61%, a ser complementada con carbón (13%), geotermia (9%), búnker (9%), gas natural (4%), diesel (3%) y bagazo (2%) (CEPAL y SICA, 2007). Ampliando este plan a 2030, el potencial hidroeléctrico ofrece importantes opciones de desarrollo (4,269 Mw). Se propone incluir desarrollos geotérmicos, cogeneración, eólicos y solares. En este escenario se reducirían las emisiones del sector eléctrico hasta en casi 14 MT anuales para 2030 en relación al escenario base. Se recomienda establecer modelos hidroeléctricos que permitan el desarrollo sostenible y social de las poblaciones aledañas, sobre lo cual varios países de la región están ganando experiencia.

Los instrumentos de política que se anticipan en este sector son primas de los precios pagados por kwh (*feed in tariffs*) y créditos fiscales a las empresas generadoras. Es necesaria también la modernización de las redes (redes inteligentes) a efecto de aceptar en todo tiempo y lugar la electricidad de fuentes distribuidas, en muchos casos intermitentes. El sector se presta para la integración de planes de acción regional en materia de energías renovables, que podrían abarcar una multiplicidad de proyectos mini-hidráulicos, eólicos, geotérmicos o de biomasa, siendo financiados al menos parcialmente con fondos multilaterales o a través de los mercados de carbono.

Es importante notar que ninguno de los parámetros de costo presentados incluye consideraciones de ingresos derivados de la comercialización de Certificados de Reducción de Emisiones (CER's) o bonos de carbono.

## 12.5 LA TRANSICIÓN A UNA ECONOMÍA GLOBAL BAJA EN CARBONO

Para los países pequeños en desarrollo, el marco de la CMNUCC es el que ofrece mayores posibilidades de un acuerdo equitativo, pero alcanzarlo es incierto. La alternativa es un conjunto de acuerdos bilaterales o regionales, o bien de medidas unilaterales sobre emisiones y/o contenidos carbónicos. De hecho, esto es lo que ha empezado a ocurrir, y en este escenario los países de Centroamérica quedan muy expuestos y a cambios de requisitos para sus exportaciones de productos y servicios.

En los últimos años diversos actores han insistido en que, tarde o temprano, el avance del cambio climático impondrá una transición a una economía global baja en carbono. Esta transición podrá implicar cambios económicos, comerciales, tecnológicos y sociales a la escala de la revolución industrial. Posiblemente será la primera transición de este tipo empujada por la regulación a nivel internacional, y donde habrá actores económicos ganadores y perdedores. Los actores económicos que postulan a esta transición tenderán a asumir mayores riesgos con la expectativa de estar en una mejor posición competitiva en el futuro. Por otro lado, la disponibilidad del carbón podría retrasar la transición, a menos que los costos de su efecto contaminante para la salud y el cambio climático se incorporen a su precio (Galindo y Samaniego, 2010; Enkvist, Naucclér y Oppenheim, 2008; Stern, 2007).

#### **RECUADRO 12.2**

##### **COMERCIO Y CAMBIO CLIMÁTICO: PERSPECTIVAS PARA CENTROAMÉRICA**

Las inversiones requeridas para bajar la intensidad carbónica varían según los sectores con diferentes riesgos y costos netos. En algunos casos las inversiones son significativas y los resultados netos serían no rentables, por lo menos a corto plazo, con impacto negativo en la competitividad de determinados sectores. Algunos países podrían considerar que sus esfuerzos son mayores que los de otros, con las desventajas consecuentes para sus productores en el mercado global.

Los países en desventaja podrían tomar medidas compensatorias. Si tuvieran un impuesto sobre contenido carbónico para productores nacionales, podrían poner un impuesto equivalente a las importaciones y rembolsar impuestos a exportaciones a regiones que no los cobren. Si el costo de las emisiones de GEI se internaliza en la economía mediante un mercado de derechos de emisiones, los países bajo este régimen podrían imponer a los otros la obligación de pagar derechos por las emisiones de GEI de la producción, transporte y otras etapas del ciclo de vida de sus exportaciones. Otras medidas pueden ser aranceles más elevados o impuestos al carbón sobre medios de transporte internacional.

Algunos mercados exportadores de México y Centroamérica consideran adoptar medidas de compensación por los mayores costos e inversiones de sus industrias sujetas a políticas de disminución de GEI en su propio territorio. El proyecto estadounidense Acta de Energía Limpia y Seguridad propone imponer costos comerciales a importaciones de países que no cumplan determinadas condiciones, obligándolos a pagar derechos de emisiones. Quedarían exentas las importaciones cuyo origen fuera un país miembro de un acuerdo internacional, multilateral o bilateral que incluyera a Estados Unidos y cumpliera requisitos de emisiones de GEI tan rigurosos como los estadounidenses. Las importaciones también podrían estar exentas de estos derechos si el país de origen tuviera una intensidad energética o de emisiones igual o menor a la de Estados Unidos en el sector respectivo.

La estrategia de manejo del cambio climático de la Unión Europea también considera la posibilidad de sujetar las importaciones a su esquema de comercio de derechos de emisión. Esto implicaría que los exportadores de algunos productos a la Unión Europea compraran derechos de emisión en el mercado europeo para cubrir las emisiones relacionadas con sus propios productos.

(Continúa)

(Continuación Recuadro 12.2)

Estas medidas, no necesariamente ligadas a acuerdos internacionales, pueden tener un impacto importante para varios países de Centroamérica por la intensidad energética o carbónica de sus procesos productivos y de transporte. De esta manera, el no aprovechamiento de las posibles exenciones quedaría vinculado al nivel desarrollo y a los marcos regulatorios laxos o insuficientes de los países, lo que implicaría costos mayores para sus exportaciones y pérdida de competitividad en sus mercados principales.

Fuente: Este recuadro fue preparado por Claudia Schatan, Bruno Antunes e Indira Romero de la Unidad de Comercio Internacional e Industria de la Sede Subregional de la CEPAL en México, en el marco de su investigación a publicarse "Comercio y Cambio Climático: Las perspectivas para México y Centroamérica".

## 12.6 CONSIDERACIONES FINALES

1. Los países de Centroamérica contribuyen juntos con menos de 0,3% del total de las emisiones de GEI sin cambio de uso de tierra. En un escenario tendencial esta proporción no cambiará significativamente. La evidencia presentada en este estudio documenta el multifacético impacto del cambio climático ya presente en estas sociedades, las cuales son altamente vulnerables por su nivel de desarrollo y su ubicación geoclimática como istmo estrecho entre dos océanos. El presente estudio evidencia que los impactos y costos futuros serán catastróficos si la tendencia actual de emisiones continúa. Los países de la región exigen establecer la meta global de no sobrepasar una concentración de GEI de 350 ppm de CO<sub>2</sub>e y un aumento de temperatura no mayor a 1,5 °C (CCAD y SICA, 2009). Esta meta más exigente requerirá mayores y más rápidas reducciones de emisiones globales, lo que permitiría reducir los impactos a los países más vulnerables. Esto requerirá esfuerzos adicionales que implicarían contribuciones voluntarias de casi todos los países del mundo, no solamente de los países con metas vinculantes bajo la CMNUCC.
2. El análisis de opciones de reducción de emisiones de GEI presentado en este capítulo sigue las líneas básicas acordadas por los Ministros de Ambiente de los países de Centroamérica: que las prioridades sean reducir vulnerabilidades y adaptarse y que las opciones de mitigación sean consideradas como cobeneficio del esfuerzo de adaptación. Este marco sugiere analizar otros flujos materiales desde el ambiente hasta la sociedad, como son los recursos hídricos, cuyo reto de conservación y mejora de la eficiencia de su uso aun sin cambio climático es mayúsculo. Otro gran reto es la conservación de bosques, corales, manglares, otros ecosistemas naturales y los múltiples servicios que éstos proporcionan a la sociedad. Otros retos involucran la resiliencia del sistema alimentario y la sostenibilidad del uso de tierra y agua, reducción de la frontera agrícola/bosque y conservación y aprovechamiento de la diversidad genética. Existen acervos naturales terrestres y marinos en la región cuya riqueza se está perdiendo, pero no es tarde para invertir en su preservación y protección como una de las mejores medidas para el desarrollo sostenible y la adaptación al cambio climático.
3. La discusión sobre emisiones de GEI también debe tomar en cuenta la alta dependencia regional de hidrocarburos importados (y la creciente tendencia a utilizar carbón mineral), una amenaza a su seguridad energética en un contexto de oscilaciones de precios e inseguridad de suministro. Además, la alta contaminación de estas fuentes de energía

implica costos de salud, los cuales son asumidos por los sistemas de salud pública y por la población afectada, no por los productores de hidrocarburos. La Estrategia Energética Sustentable 2020 de Centroamérica identifica un escenario tendencial de emisiones y propone cambios en la matriz energética con sus consecuentes reducciones de emisiones. Se identifica una coincidencia de beneficios entre el mayor uso de recursos renovables de la misma región con la reducción de emisiones en relación al escenario tendencial (véase cap. 8). Estos retos de desarrollo son válidos por sí mismos, aun sin considerar la reducción de emisiones.

4. Si Centroamérica avanza en transitar a un sendero de desarrollo más sostenible e incluyente, aprovechando el esfuerzo global de mitigación, resulta válido hacer un análisis de sus oportunidades y costos. Como miembros de la CMNUCC, los países de la región están comprometidos a contribuir a los esfuerzos de mitigación, siempre y cuando los países desarrollados les transfieran las tecnologías y los recursos financieros necesarios. La Estrategia Regional de Cambio Climático propone aprovechar los fondos de mitigación y los mercados de carbono para fomentar un mayor uso de fuentes renovables, capturar carbono por reforestación y conservación del bosque existente, incentivar producción y consumo más limpios y reducir emisiones por uso de leña y labores agrícolas (CCAD y SICA, 2010).
5. Es importante considerar otras dos implicaciones de la respuesta al cambio climático. Una tiene que ver con enfrentar la multiplicidad de objetivos de adaptación y desarrollo sostenible con limitados recursos públicos. En estos casos es conveniente integrar el diseño de políticas, priorizando medidas de adaptación que mejoren la adaptabilidad de los sistemas naturales y no aumenten la presión sobre ellos. De forma complementaria, las medidas de reducción de emisiones deben ser diseñadas para que contribuyan a reducir las vulnerabilidades y favorecer la adaptación sostenible, particularmente de las poblaciones pobres, y aprovechar los conocimientos, las prácticas y las variedades de cultivos y plantas que fomentan la sostenibilidad de los pueblos indígenas y las comunidades campesinas.
6. En el contexto comercial global, algunos países podrían considerar que sus esfuerzos de reducción de emisiones son mayores que las de otros, con las desventajas consecuentes para sus productores y, por ende, tomarían medidas compensatorias como un impuesto al contenido carbónico de las importaciones o pago de derechos por las emisiones de GEI de la producción, transporte y otras etapas del ciclo de vida de sus exportaciones. Otras medidas pueden ser aranceles más elevados o impuestos al carbón sobre medios de transporte internacionales. Algunos importadores de productos de Centroamérica consideran adoptar medidas de este tipo, las cuales pueden implicar mayores costos para exportaciones y pérdida de competitividad por la intensidad energética o contenido carbónico de sus procesos productivos y de transporte.
7. En términos del ejercicio IPAT, los indicadores muestran diferencias importantes al interior de la región. Así por ejemplo, podría considerarse que la tecnología utilizada en los procesos productivos de Costa Rica es más eficiente en términos de emisiones. Panamá, si bien muestra una intensidad energética baja, tiene un producto per cápita alto asociado a un consumo de energía no eficiente y con menor ritmo de crecimiento de la población, lo que se traduce en emisiones más altas por habitante.

8. Nicaragua muestra la intensidad energética más alta y el segundo nivel de carbonización resultando en el más alto nivel de CO<sub>2</sub>e emitido por unidad de producto. Es decir, su economía depende en gran medida del consumo de energía, pero sus tecnologías son intensivas en emisiones. Considerando su estructura productiva actual, un mayor crecimiento económico implicará un aumento acelerado de las emisiones por habitante.
9. Honduras tiene una intensidad de energía superior al promedio regional, pero sus emisiones de CO<sub>2</sub>e/energía son las más bajas, lo que hace suponer que sus fuentes de abastecimiento utilizan tecnologías más limpias. Por cada unidad de producto se generan 1,5 unidades de CO<sub>2</sub>e, el promedio de Centroamérica, pero mantiene las emisiones por habitante más bajas. Con la tecnología actual, una expansión del crecimiento económico podría ocasionar incrementos de emisiones menos que proporcionales.
10. Guatemala es una de las dos economías más grandes de la región en términos del PIB y su consumo de energía es más que proporcional a incrementos del producto. Por cada unidad de producto se emiten 1,87 unidades de CO<sub>2</sub>e. Este nivel alto se explica en buena medida por la expansión de la población, que seguirá hasta el 2070, por lo cual seguirá presionando sobre las emisiones.
11. El Salvador muestra una intensidad de energía y un nivel de CO<sub>2</sub>e/PIB inferiores al promedio. Por lo tanto, su economía muestra una menor dependencia de la energía. En consecuencia, registra menores niveles de emisiones. La estabilidad macroeconómica y el lento crecimiento de la población han mantenido relativamente estables sus emisiones por habitante. Un crecimiento moderado de la economía aunado a los escenarios demográficos podría indicar que el nivel de emisiones per cápita se mantendría relativamente estable.
12. Belice, por el tamaño de su economía y población, no hace una contribución importante a las emisiones regionales. No obstante, sus emisiones de CO<sub>2</sub>e/energía son superiores al promedio, indicando que genera más unidades de CO<sub>2</sub>e por unidad de energía. Su nivel de emisiones per cápita es de 3,66 toneladas por habitante, el segundo más alto en Centroamérica, factor a considerar en un escenario de crecimiento acelerado.
13. En términos del ejercicio de tendencias de emisiones hacia el 2030, se desprenden otras conclusiones de interés para la definición de políticas en la región. Es urgente atender los problemas de deforestación, especialmente en Honduras, Nicaragua y Guatemala. Esto no sólo por razones climáticas, sino por su severo impacto en la biodiversidad, en los equilibrios hidrológicos y los otros servicios ambientales que proporcionan los bosques. La reducción de la deforestación debe ser una prioridad de política pública y se requieren todos los esfuerzos posibles para lograr un acuerdo internacional en REDD benéfico para los países en vías de desarrollo. La captura de carbono en sistemas forestales es una oportunidad considerable, en especial si se orienta a zonas con alto potencial (áreas tropicales húmedas), bajo esquemas de conectividad a través de corredores biológicos entre áreas protegidas.
14. Para toda la región es importante definir políticas de eficiencia energética en los vehículos automotores y, de ser posible, introducir cambios en la estructura modal del transporte.
15. Hay oportunidades considerables de reducir el factor de emisión de los sistemas eléctricos con una nueva generación de hidroeléctricas que trabaja con y proporciona beneficios a las



poblaciones locales, reduce su impacto ambiental y protege sus cuencas. También se deben desarrollar otras fuentes renovables de energía como la eólica, la minihidráulica, la geotérmica y la biomasa dada su competitividad creciente.

16. A pesar de su relevancia, no es sencillo vislumbrar la naturaleza de las políticas de reducción de emisiones en el sector agropecuario, excepto en el manejo de excretas del ganado con biodigestión y la racionalización del uso de fertilizantes basados en nitrógeno. Mayores beneficios podrán obtenerse con un enfoque integrado de adaptación sostenible del sector que incluya reducción de la degradación de suelos y de la deforestación en la frontera agrícola.
17. El manejo de residuos urbanos ofrece oportunidades promisorias no sólo de destrucción de metano, sino de su aprovechamiento para la generación de electricidad. Es posible que la mayor parte de estas oportunidades estén en proceso de ser aprovechadas, al menos en El Salvador, Costa Rica y Panamá. El MDL y otros mecanismos de acceso a mercados de carbono pueden ser vías apropiadas, especialmente a través de la agregación de proyectos medianos en rellenos sanitarios o tiraderos.
18. Por último, puede considerarse la conveniencia de mejorar la eficiencia energética en el sector residencial, de servicios y en la industria manufacturera. Pueden explorarse opciones de eficiencia en iluminación municipal (LED's), iluminación residencial y comercial (LFC's), equipos de aire acondicionado y refrigeración eficientes y calentadores solares en hogares y comercios.

## CAPÍTULO 12.

ANEXO A: EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO (GEI) POR SECTORES, MEDIDOS EN CO<sub>2</sub>e A 100 AÑOS.

**CUADRO A-I**  
**BELICE: EMISIONES DE GEI EN CO<sub>2</sub>e POR SECTORES**  
*(En toneladas, porcentajes y tasas de crecimiento anual)*

Sector	1994		1997		2000	
	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%
Energía	606 900	5,3	644 100	8,2	669 300	6,8
Procesos industriales y uso de productos	0,294	0,0	0,277	0,0	0,260	0,0
Agricultura	270 374	2,4	54 323	0,7	244 072	2,5
Desechos	5 457 484	48,0	31 796	0,4	40 232	0,4
Emisiones sin cambio de uso de suelo	6 334 758		730 219		953 604	
Emisiones cambio de uso de tierra	7 924 000		10 370 000		12 790 000	
Total de emisiones brutas	14 258 758		11 100 219		13 743 604	
Absorciones	-2 891 000		-3 225 000		-3 862 000	
- Cambio en bosque y otras reservas de biomasa leñosa.	-2 708 000		-3 099 000		-3 651 000	
-Abandono de tierra manejada	-183 000		-126 000		-211 000	
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)	5 033 000	44,3	7 145 000	90,7	8 928 000	90,4
Total de emisiones netas	11 367 758	100,0	7 875 219	100,0	9 881 604	100,0
<b>Tasas anuales de crecimiento</b>						
Sector	1994-1997 (%)		1997-2000 (%)			
Energía	2,00		1,29			
Procesos industriales y uso de productos	-1,97		-2,09			
Agricultura	-41,43		65,01			
Desechos	-82,01		8,16			
Emisiones sin cambio de uso de suelo	-51,33		9,30			
Emisiones cambio de uso de tierra	9,38		7,24			
Total de emisiones brutas	-8,01		7,38			
Absorciones	3,71		6,19			
- Cambio en bosque y otras reservas de biomasa leñosa.	4,60		5,62			
-Abandono de tierra manejada	-11,70		18,75			
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)	12,39		7,71			
Total de emisiones netas	-11,52		7,86			

Nota: Todos los sectores son la suma de emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> equivalente a 100 años.

Los datos de 1997 y 2000 fueron obtenidos de CEPALSTAT y del informe preliminar de la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático.

Fuentes: MNRE, 2002; CEPAL, 2010a; MNRE, 2007.

**CUADRO A-2**  
**COSTA RICA: EMISIONES GEI EN CO<sub>2</sub>e POR SECTORES**  
*(En toneladas, porcentajes y tasas de crecimiento anual)*

Sector	1990		1996		2000		2005	
	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%
Energía	2 527 920	34,0	4 179 100	42,7	4 805 600	60,5	5 688 600	64,8
Procesos industriales y uso de productos	367 900	4,9	571 480	5,8	449 800	5,7	672 500	7,7
Agricultura	2 754 120	37,0	4 883 500	49,9	4 608 600	58,0	4 603 900	52,4
Desechos	430 500	5,8	870 240	8,9	1 236 900	15,6	1 320 900	15,1
Emisiones sin cambio de uso de suelo	6 080 440		10 504 320		11 100 900		12 285 900	
Emisiones de cambio de uso de tierra	3 577 430		3 613 090		1 157 300		1 832 500	
Total de emisiones brutas	9 657 900		14 117 620		12 258 200		14 118 400	
Absorciones (cambio de uso de suelo)	-2 215 840		-4 337 700		-4 317 800		-5 339 200	
-Cambios en el bosque y otros tipos de madera.	883 230		2 318 100					
-Abandono de tierra manejada	1 332 610		2 019 600		2 494 800			
-Absorción en plantaciones					1 823 000			
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)	1 361 590	18,3	-724 610	-7,4	-3 160 500	-39,8	-3 506 700	-39,9
Total de emisiones netas	7 442 030	100,0	9 779 710	100,0	7 940 400	100,0	8 779 200	100,0
<b>Tasas anuales de crecimiento</b>								
Sector	1990-1996 (%)		1996-2000 (%)		2000-2005 (%)			
Energía	8,74		3,55		3,43			
Procesos industriales y uso de productos	7,62		-5,81		8,38			
Agricultura	10,02		-1,44		-0,02			
Desechos	12,45		9,19		1,32			
Emisiones sin cambio de uso de suelo	9,54		1,39		2,05			
Emisiones de cambio de uso de tierra	0,17		-24,77		9,63			
Total de emisiones brutas	6,53		-3,47		2,87			
Absorciones (cambio de uso de suelo)	11,85		-0,11		4,34			
-Cambios en el bosque y otros tipos de madera.	17,45							
-Abandono de tierra manejadas	7,18		5,42					
-Absorción en plantaciones								
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)	-188,15		44,51		2,10			
Total de emisiones netas	4,66		-5,08		2,03			

Nota: Los sectores son la suma de emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> equivalente a 100 años.

Fuentes: MAE e IMN, 1996; IMN y MINAET, 2000; MINAET e IMN, 2009a y MINAET e IMN, 2009b.

**CUADRO A-3**  
**EL SALVADOR: EMISIONES GEI EN CO<sub>2</sub>e POR SECTORES**  
*(En toneladas, porcentajes y tasas de crecimiento anual)*

Sector	1994		2000	
	Toneladas	%	Toneladas	%
Energía	4 765 500	30,1	5 378 800	41,0
Procesos industriales y uso de productos	490 100	3,1	444 244	3,4
Agricultura	5 784 840	36,5	2 512 547	19,1
Desechos	876 750	5,5	1 263 653	9,6
Emisiones sin cambio de uso de suelo	11 917 190		9 599 245	
Emisión cambio de uso de tierra	4 660 372		3 702 228	
Total de emisiones brutas	16 577 562		13 301 473	
Absorciones	-718 700		-173 670	
-Conversión bosques y praderas	-718 700			
- Abandono de tierras cultivadas			-173 670	
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)	3 941 672	24,9	3 528 558	26,9
Total de emisiones netas	15 858 862	100,0	13 127 803	100,0
<b>Tasas anuales de crecimiento</b>				
<b>1994-2000 (%)</b>				
Energía				2,04
Procesos industriales y uso de productos				-1,62
Agricultura				-12,98
Desechos				6,28
Emisiones sin cambio de uso de suelo				-3,54
Emisión cambio de uso de tierra				-3,76
Total de emisiones brutas				-3,60
Absorciones				-21,08
-Conversión bosques y praderas				
- Abandono de tierras cultivadas				
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)				-1,83
Total de emisiones netas				-3,10

Nota: Todos los sectores son la suma de emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> equivalente a 100 años.

Fuentes: MARN, 2000b y MARN, 2009.

**CUADRO A-4**  
**GUATEMALA: EMISIONES GEI EN CO<sub>2</sub>e POR SECTORES**

*(En toneladas, porcentajes y tasas de crecimiento anual)*

Sector	1990		2000	
	Toneladas	%	Toneladas	%
Energía	4 584 023	-18,5	10 426 622	178,2
Procesos industriales y uso de productos	544 664	-2,2	1 235 727	21,1
Agricultura	8 831 522	-35,6	19 471 089	332,9
Desechos	781 967	-3,2	1 049 255	17,9
Emisiones sin cambio de uso de suelo	14 742 176		32 182 693	
Emisiones de cambio de uso de tierra	3 357 909		11 127 114	
Total de emisiones brutas	18 100 085		43 309 808	
Absorciones	-42 903 727		-37 460 174	
-Cambio en bosque y otras reservas de biomasa leñosa.	-37 871 929		-25 963 764	
- Abandono de tierras manejadas	-2 967 733		-10 173 952	
- Emisiones y absorciones de CO <sub>2</sub> del suelo	-2 064 065		-1 322 458	
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)	-39 545 818	159,4	-26 333 060	-450,2
Total de emisiones netas	-24 803 642	100,0	5 849 634	100,0
<b>Tasas anuales de crecimiento</b>				
	<b>1990-2000 (%)</b>			
Energía	8,56			
Procesos industriales y uso de productos	8,54			
Agricultura	8,23			
Desechos	2,98			
Emisiones sin cambio de uso de suelo	8,12			
Emisiones de cambio de uso de tierra	12,73			
Total de emisiones brutas	9,12			
Absorciones	-1,35			
-Cambio en bosque y otras reservas de biomasa leñosa.	-3,70			
- Abandono de tierras manejadas	13,11			
- Emisiones y absorciones de CO <sub>2</sub> del suelo	-4,35			
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)	-3,98			
Total de emisiones netas	-186,43			

Nota: Todos los sectores es la suma de emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> equivalente a 100 años.

Fuentes: MARN, 2001; MARN y PNCC, 2007.

**CUADRO A-5**  
**HONDURAS: EMISIONES GEI EN CO<sub>2</sub>e POR SECTORES**

*(En toneladas, porcentajes y tasas de crecimiento anual)*

Sector	1995		2000	
	Toneladas	%	Toneladas	%
Energía	3 663 000	24,2	4 076 700	24,4
Procesos industriales y uso de productos	514 720	3,4	689 970	4,1
Agricultura	3 381 170	22,3	4 441 910	26,6
Desechos	2 944 880	19,5	1 738 700	10,4
Emisiones sin cambio de uso de suelo	10 503 770		10 947 280	
Emisiones brutas de cambio de uso de tierra	57 392 390		56 696 650	
Total de emisiones brutas	67 896 200		67 643 930	
Absorciones	-52 763 110		-50 940 790	
-Cambio en bosque y en otra biomasa leñosa	-22 564 040		-21 941 270	
-Abandono de tierras cultivadas	-30 199 070		-28 999 520	
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)	4 629 280	30,6	5 755 860	34,5
Total de emisiones netas	15 133 090	100,0	16 703 140	100,0
<b>Tasas anuales de crecimiento</b>				
	<b>1995-2000 (%)</b>			
Energía	2,16			
Procesos industriales y uso de productos	6,04			
Agricultura	5,61			
Desechos	-10,00			
Emisiones sin cambio de uso de suelo	0,83			
Emisiones de cambio de uso de tierra	-0,24			
Total de emisiones brutas	-0,07			
Absorciones	-0,70			
-Conversión bosques y praderas	-0,56			
-Emisiones y absorciones de CO <sub>2</sub> del suelo	-0,81			
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)	4,45			
Total de emisiones netas	1,99			

Nota: Todos los sectores son la suma de emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> equivalente a 100 años.

Fuentes: SERNA, 2000; SERNA, PNCC y PNUD, 2008.



**CUADRO A-6**  
**NICARAGUA: EMISIONES GEI EN CO<sub>2</sub>e POR SECTORES**

*(En toneladas, porcentajes y tasas de crecimiento anual)*

Sector	1994		2000	
	Toneladas	%	Toneladas	%
Energía	2 733 990	-61,8	3 922 590	6,8
Procesos industriales y uso de productos	354 840	-8,0	305 850	0,5
Agricultura	4 891 510	-110,6	7 101 000	12,3
Desechos	385 410	-8,7	651 950	1,1
Emisiones sin cambio de uso de suelo	8 365 750		11 981 390	
Emisiones cambio de uso de tierra	59 639 730		140 257 250	
Total de emisiones brutas	68 005 480		152 238 640	
Absorciones	-72 429 730		-94 489 000	
-Cambio en bosque y otras reservas de biomasa leñosa.	-59 218 650		-76 534 000	
- Abandono de tierras cultivada	-13 211 080		-17 952 000	
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)	-12 790 000	289,1	45 768 250	79,3
Total de emisiones netas	-4 424 250	100,0	57 749 640	100,0
<b>Tasas anuales de crecimiento</b>				
	<b>1994-2000 (%)</b>			
Energía	6,20			
Procesos industriales y uso de productos	-2,45			
Agricultura	6,41			
Desechos	9,16			
Emisiones sin cambio de uso de suelo	6,17			
Emisiones de cambio de uso de tierra	15,32			
Total de emisiones brutas	14,37			
Absorciones	4,53			
-Cambio en bosque y otras reservas de biomasa leñosa.	4,37			
- Abandono de tierras cultivada	5,24			
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)	--			
Total de emisiones netas	--			

Nota: Todos los sectores son la suma de emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> equivalente a 100 años.

Fuentes: MARENA, 2001 y MARENA, 2008.

**CUADRO A-7**  
**PANAMÁ: EMISIONES GEI EN CO<sub>2</sub>e POR SECTORES**

*(En toneladas, porcentajes y tasas de crecimiento anual)*

Sector	1994		2000	
	Toneladas	%	Toneladas	%
Energía	5 874 200	25,6	6 803 620	73,2
Procesos industriales y uso de productos	412 940	1,8	432 700	4,7
Agricultura	4 725 590	20,6	3 204 690	34,5
Desechos	1 650 740	7,2	1 081 530	11,6
Emisiones sin cambio de uso de suelo	12 663 470		11 522 540	
Emisión brutas de cambio de uso de tierra	21 835 090		21 425 000	
Total de emisiones brutas	34 498 560		32 947 540	
Absorciones	-11 552 700		-23 658 000	
-Cambio de biomasa y otras vegetaciones leñosas	-6 795 140		-20 318 000	
-Abandono de tierra manejada	-4 757 560			
- Emisiones y absorciones de CO <sub>2</sub> desde el suelo			-3 340 000	
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)	10 282 390	44,8	-2 233 000	-24,0
Total de emisiones netas	22 945 860	100,0	9 289 540	100,0
<b>Tasas anuales de crecimiento</b>				
<b>1994-2000 (%)</b>				
Energía			2,48	
Procesos industriales y uso de productos			0,78	
Agricultura			-6,27	
Desechos			-6,80	
Emisiones sin cambio de uso de suelo			-1,56	
Emisión cambio de uso de tierra			-0,32	
Total de emisiones brutas			-0,76	
Absorciones			12,69	
-Cambio de biomasa y otras vegetaciones leñosas			20,03	
-Abandono de tierra manejada			---	
- Emisiones y absorciones de CO <sub>2</sub> desde el suelo			---	
Emisiones netas de cambio de uso de suelo (emisiones – absorciones)			---	
Total de emisiones netas			-13,99	

Nota: Todos los sectores son la suma de emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> equivalente a 100 años.

Fuentes: ANAM, 2000 y ANAM, 2009

## CAPÍTULO 12.

## ANEXO B: PROYECTOS DEL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL) POR PAÍS.

**CUADRO B-1**  
**COSTA RICA: PROYECTOS MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**

Título	Otras partes	Tipo de proyecto	Reducción de CO <sub>2</sub> e por año en toneladas métricas	Estatus (Registro)	Escala
<i>Rio Azul landfill gas and utilization project in Costa Rica</i>	Holanda	Recuperación de gas emitido por los rellenos sanitarios con generación de electricidad y sin captura o destrucción de metano.	156 084	Activo y fijo (13/10/05)	Escala Grande
<i>Cote small-scale hydropower plant</i>	Canadá, Holanda, Finlandia, Francia, Suecia, Alemania, Reino Unido, Irlanda del Norte, Japón y Noruega	Planta hidroeléctrica a pequeña escala para generar electricidad.	6 431	Por renovar (03/03/06)	Escala Pequeña
<i>La Joya Hydroelectric Project</i>	España	Generación de electricidad con planta la hidroeléctrica.	38 273	Activo y para renovar (09/03/07)	Escala grande
<i>Tejona Wind Power Project (TWPP)</i>	Holanda	Generación de energía eólica.	12 600	Activo y para renovar (23/03/07)	Escala Grande
<i>Switching of fuel from coal to palm oil mill biomass waste residues at Industrial de Oleaginosas Americanas S.A. (INOLASA)</i>	Alemania	Instalación de una caldera alimentada de biomasa para suministrar vapor a procesos de producción interna, desplazando la caldera alimentada por carbón.	38 212	Activo y para renovar (30/11/07)	Pequeña escala
<i>CEMEX Costa Rica: Use of Biomass residues in Colorado cement plant.</i>	Reino Unido e Irlanda del Norte	Sustitución parcial de combustibles fósiles por combustibles alternativos (cáscara de arroz, aserrín y otros residuos de biomasa) en la fabricación de cemento.	42 040	Activo y fijo (05/06/08)	Escala grande

Fuente: CDM y UNFCCC, 2010.

**CUADRO B-2**  
**EL SALVADOR: PROYECTOS MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**

Título	Otras partes	Tipo de proyecto	Reducción de CO <sub>2</sub> e por año en toneladas métricas	Estatus (Registro)	Escala
<i>Landfill Gas to Energy Facility at the Nejapa Landfill Site, El Salvador</i>	Canadá, Holanda y Luxemburgo	Recuperar y utilizar el gas que emana del relleno sanitario de Nejapa para reducir los GEI.	186 725	Activo y renovable (12/03/06)	Escala grande
<i>LaGeo, S.A. de C.V., Berlin Geothermal Project, Phase Two</i>	Holanda	Aumentar la capacidad de generación de energía geotérmica mediante perforación de pozos geotérmicos y la instalación de una nueva unidad de poder de condensación.	176 543	Activo y renovable (25/05/06)	Escala grande

(Continúa)

(Continuación Cuadro B-2)

<i>El Angel Cogeneration Project</i>		Aumentar la capacidad de generación de energía en el Ingenio El Ángel con calderas de alta eficiencia y turbogeneradores para el aprovechamiento de bagazo de caña de azúcar.	25 285	Renovable (29/06/07)	Escala grande
<i>Central Izalco Cogeneration Project</i>	Japón	Aumentar la capacidad de generación de energía en el Ingenio Central Izalco con calderas de alta eficiencia y turbogeneradores para el mejor aprovechamiento de bagazo de caña de azúcar.	45 750	Renovable (30/11/07)	Escala grande
<i>Berlin Binary Cycle power plant</i>	Bélgica	Aumentar la capacidad de generación de energía mediante la conversión de energía térmica de baja presión en energía eléctrica.	44 141	Activo y renovable (30/11/07)	Escala grande
<i>El Chaparral Hydroelectric Project (El Salvador)</i>		Estación hidroeléctrica sobre el río Torola para proveer energía a la red nacional.	144 091	Activo y renovable (01/03/10)	Escala grande
<i>Addition of a power generation micro unit at the 5 de noviembre Power Plant</i>		Incorporar macrounidad de generación de electricidad que aumentará la capacidad de generación de cinco plantas.	1 549	retirado	Escala pequeña
<i>Papaloate Hydroelectric Project</i>		Utilizar el potencial hidráulico del río Papaloate mediante el aprovechamiento de una desviación del cauce.	6 217	Solicitud en proceso	Escala pequeña

Fuente: CDM y UNFCCC, 2010.

**CUADRO B-3**  
**GUATEMALA: PROYECTOS MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**

Título	Otras partes	Tipo de Proyecto	Reducción de CO <sub>2</sub> e por año en toneladas métricas	Estatus (Registro)	Escala
<i>"Las Vacas" Hydroelectric project</i>	España	Planta hidroeléctrica con aguas residuales como fuente principal.	90 363	Activo y renovable (17/12/05)	Escala grande
<i>Matanzas Hydroelectric Plant</i>	Suiza	Contribuir al desarrollo sustentable local y nacional con la planta hidroeléctrica de Matanzas.	26 578	Activo (21/01/06)	Escala pequeña
<i>San Isidro Hydroelectric Plant</i>	Suiza	Contribuir al desarrollo sustentable local y nacional con la planta hidroeléctrica de San Isidro.	13 389	Activo (23/01/06)	Escala pequeña
<i>Candelaria Hydroelectric Project</i>	Suiza	Generar electricidad con recursos hidroeléctricos y vender la producción generada a la red nacional.	18 922	Activo y renovable (09/11/06)	Escala pequeña
<i>El Canadá Hydroelectric Project</i>	Canadá, Holanda, Finlandia, Francia, Suecia, Alemania, Japón, Noruega	Instalación de una planta hidroeléctrica sobre el río Samalá.	118 527	Activo y renovable (02/12/06)	Escala grande
<i>Biogas energy plant from palm oil mill effluent</i>		Captura y combustión del gas metano de lagunas anaeróbicas para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Extractora del Atlántico.	30 333	Activo y renovable (06/04/08)	Escala pequeña
<i>Amatitlan Geothermal Project</i>	Reino Unido e Irlanda del Norte	Utilizar los recursos del campo geotérmico Amatitlan para generar energía renovable y enviarla a la red del sistema nacional.	82 978	Activo y renovable (12/12/08)	Escala grande
<i>Xacbal Hydroelectric Project</i>	Holanda	Producir electricidad a través de recursos renovables y contribuir a satisfacer la demanda del sistema eléctrico de Guatemala.	311 438	Activo y renovable (23/12/08)	Escala grande

(Continúa)

(Continuación Cuadro B-3)

<i>Bioenergía Anaerobic Digestion and Biogas Generation Project</i>	Reino Unido e Irlanda del Norte	Instalación de una planta de digestión anaeróbica en los servicios manufactureros (SEMA) para utilizar las aguas residuales de la destilería para producir biogás. El biogás generado se integrará a las calderas utilizadas actualmente por SEMA para producir vapor y ejecutar sus operaciones.	100 000	Activo y renovable (01/04/09)	Escala grande
<i>Co-compositing of EFB and POME project</i>		Reducir el potencial contaminante de los residuos agrícolas orgánicos de aguas superficiales y subterráneas mediante la aplicación de un proceso de compostaje aeróbico.	22 940	Activo y renovable (18/07/09)	Escala pequeña
<i>Biogas Project, Olmeca III, Tecún Uman</i>	Suiza	Mitigar las emisiones de metano por la recuperación y combustión de Metano.	37 377	Activo y renovable (23/11/09)	Escala pequeña
<i>Ingenio Magdalena S.A. cogeneration project</i>		Mejorar el suministro de electricidad, aumentando la cuota de energía renovable en la generación, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles.	144 350	rechazado	Escala grande
<i>Montecristo Hydroelectric Project</i>		Construir una planta hidroeléctrica que proporcione energía eléctrica limpia, libre de emisiones de GEI.	35 189	rechazado	Escala pequeña

Fuente: CDM y UNFCCC, 2010.

**CUADRO B-4**  
**HONDURAS: PROYECTOS MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**

<b>Título</b>	<b>Otras partes</b>	<b>Tipo de proyecto</b>	<b>Reducción de CO<sub>2</sub>e por año en toneladas métricas</b>	<b>Estatus (Registro)</b>	<b>Escala</b>
<i>Rio Blanco small Hydroelectric Project</i>	Finlandia	Producir energía hidroeléctrica limpia y vender la energía a la ENEE (Empresa Nacional de Energía Eléctrica) a través de un PPA ( <i>Power Purchase Agreement</i> ).	17 800	Activo y fijo (11/01/05)	Escala pequeña
<i>Cuyamapa Hydroelectric Project</i>	Austria, Reino Unido e Irlanda del Norte	Generar electricidad hidráulica con beneficios para la comunidad y el desarrollo sustentable de la región.	35 660	Activo y fijo (23/04/05)	Escala pequeña
<i>Cortecito and San Carlos Hydroelectric Project</i>		Generar electricidad con recursos hidráulicos, incluyendo beneficios para la comunidad y el desarrollo sustentable de la región.	37 466	Activo y fijo (03/06/05)	Escala pequeña
<i>La Esperanza Hydroelectric Project</i>	Canadá, Holanda, Italia, Dinamarca, Finlandia, Austria, Luxemburgo, Bélgica, Suecia, Alemania, Suiza, Japón, Noruega, España	Es el proyecto hidroeléctrico en la región de Intibuca, que tiene un contrato para vender la electricidad generada a la empresa eléctrica nacional.	37 032	Por renovar (19/08/05)	Escala pequeña
<i>Cuyamel Hydroelectric Project</i>	Suiza, Reino Unido e Irlanda del Norte	Planta pequeña de generación de energía hidroeléctrica para la demanda regional y nacional.	25 353	Activo y renovable (26/11/05)	Escala Pequeña
<i>La Gloria Hydroelectric project</i>	Reino Unido e Irlanda del Norte	Generar energía hidroeléctrica para la demanda regional y nacional mediante.	20 464	Activo y renovable (09/01/06)	Escala Pequeña
<i>Zacapa Mini Hydro Station Project</i>	Finlandia	Renovación de instalaciones y equipamiento de la planta hidroeléctrica existente.	915	Activo y fijo (02/03/06)	Escala pequeña
<i>CECECAPA Small Hydroelectric Project</i>	Finlandia	Generar energía limpia que contribuirá a reducir la factura del petróleo importado y las emisiones de CO <sub>2</sub> .	1 877	Activo y fijo (02/03/06)	Escala pequeña
<i>Yojoa Small Hydropower Project</i>	Finlandia	Construcción de una pequeña planta hidroeléctrica con agua del río Yojoa.	1 069	Activo y fijo (02/03/06)	Escala pequeña
<i>Eecopalsa –biogas recovery and electricity generation from Palm Oil Mill Effluent pounds, Honduras.</i>	Suiza	Recuperación de Biogás a partir de los estanques de aceite de palma efluente PALCASA.	27 615	Activo y renovable (02/09/06)	Escala Pequeña

(Continúa)

(Continuación Cuadro B-4)

Japón	Instalación del equipo más eficiente para usar el bagazo de azúcar. Tres Valles también utiliza el aserrín de las fabricas de madera cercanas.	16 479	Activo y renovable (28/06/07)	Escala grande
<i>Cervecería Hondureña Methane Capture Project</i>	Instalación de un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales en la producción de cerveza y refrescos para eliminar la levadura y otros residuos antes de llegar a los ríos.	7 302	Por renovar (28/08/07)	Escala pequeña
<i>Inversiones Hondureñas Cogeneration Project</i>	Incluye la cobertura de dos lagunas anaeróbicas abiertas para el tratamiento del aceite de palma de molino. El biogás recuperado será utilizado en el sitio para la producción de calor y electricidad.	19 937	Activo y renovable (12/12/07)	Escala pequeña
<i>Energéticos Jaremar-Biogás recovery from Palm Oil Mill Effluent (POME) ponds heat and electricity generation, Honduras.</i>	El proyecto incluye la cobertura de dos lagunas anaeróbicas abiertas para el tratamiento de la palma de aceite. El biogás recuperado será utilizado en el sitio para la producción de calor y electricidad.	30 646	Activo y renovable (08/03/08)	Escala pequeña
<i>Energía Ecológica de Palcasa S.A. EECOPALSA Biomass Project</i>	Instalación de una planta de 3.4 MW de cogeneración de biomasa en la fábrica de aceite de palma PALCASA.	14 088	Activo y renovable (25/03/09)	Escala pequeña
<i>Energía Limpia Jaremar renewable thermal generation from biomass (EFB) Honduras</i>	Instalación de dos calderas de biomasa combustible para suministrar vapor a las empresas INDASA y OLEPSA.	18 856	Activo y renovable (20/02/10)	Escala pequeña
<i>Compañía Azucarera Hondureña S.A. cogeneration Project</i>	Aumentar la capacidad de generación de energía en el ingenio Santa Matilde mediante la instalación de calderas de alta eficiencia y turbogeneradores para el mejor aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar.	32 990	Rechazado	Escala grande
<i>La Grecia Cogeneration Project</i>	Instalación de equipos eficientes para el mejor aprovechamiento del bagazo generados en la producción de azúcar.	52 429	Rechazado	Escala grande
<i>Chumbagua Cogeneration Project</i>	Instalación de equipos eficientes para el mejor aprovechamiento del bagazo de azúcar.	22 324	Rechazado	Escala grande

Fuente: CDM y UNFCCC, 2010.

**CUADRO B-5**  
**NICARAGUA: PROYECTOS MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**

Título	Otras partes	Tipo de proyecto	Reducción de CO <sub>2</sub> e por año en toneladas métricas	Estatus (Registro)	Escala
<i>San Jacinto Tizate geothermal project</i>	Suiza, Reino Unido e Irlanda del Norte	Construcción de una planta de energía geotérmica en San Jacinto.	280 703	Activo y renovable (08/04/06)	Escala grande
<i>Monte Rosa Bagasse Cogeneration Project (MRBCP)</i>	Brasil, Japón, Suiza, Reino Unido e Irlanda del Norte	Aumentar la eficiencia energética y la capacidad de cogeneración para suministrar electricidad a la red: valor añadido a la producción de bagazo por la empresa.	56 020	Activo y por renovar (22/06/06)	Escala grande
<i>Vinasse Anaerobic Treatment Project-Compañía Licorera de Nicaragua, S.A. (CLNSA)</i>	Holanda	Tratamiento de aguas residuales en la producción de alcohol (vinaza) y utilizar la materia orgánica retirada.	119 847	Activo y fijo (09/03/07)	Escala grande
<i>Amayo 40 MW wind power Project-Nicaragua</i>		Proveer electricidad eólica a la red de Nicaragua.	120 811	Activo y por renovar (12/04/09)	Escala grande

Fuente: CDM y UNFCCC, 2010.



**CUADRO B-6**  
**PANAMÁ: PROYECTOS MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**

Título	Otras partes	Tipo de proyecto	Reducción de CO <sub>2</sub> e por año en toneladas métricas	Estatus (Registro)	Escala
<i>Los Algarrobos Hydroelectric Project</i>	España	Construcción de una mini planta hidroeléctrica cuyas turbinas serán operadas por el flujo de la Quebrada Algarrobos y el río Casita de Piedra.	37 213	Activo y renovable (01/10/05)	Escala pequeña
<i>Project for the refurbishment and upgrading of Dolega Hydropower plant</i>	España	Instalación de tres turbinas hidráulicas tipo Francis con la mejor tecnología disponible para la mejor eficiencia energética de la planta.	12 167	Por renovar (24/12/05)	Escala pequeña
<i>Project for the Refurbishment and upgrading of Macho del Monte Hydropower plant</i>	España	Instalación de dos turbinas hidráulicas tipo Francis con la mejor tecnología disponible para la mejor eficiencia energética de la planta.	10 963	Por renovar (24/12/05)	Escala pequeña
<i>Concepción Hydroelectric Project</i>		Proyecto hidroeléctrico para proveer energía limpia, segura y capacidad renovable al sistema eléctrico panameño.	36 126	Activo y renovable (21/10/06)	Escala pequeña
<i>Paso Ancho Hydroelectric Project</i>	Reino Unido e Irlanda del Norte	Construcción, operación y mantenimiento de una planta de energía hidroeléctrica y las instalaciones auxiliares en el río Chiriquí Viejo.	22 233	Activo y renovable (10/03/07)	Escala Pequeña
<i>Santa Fe, Energy Wind farm</i>	Reino Unido e Irlanda del Norte	Utilizar los recursos eólicos de la zona de Cerro Tute y Cerro Delgadito a través de un parque eólico para generar energía cero emisiones.	172 877	Activo y renovable (23/02/09)	Escala grande
<i>Increase of Power Generation of the hydroelectric power station Fortuna in Panama (IPGFP)</i>		Aumentar el flujo de agua en el embalse de Fortuna al desviar cinco arroyos para aumentar la generación de electricidad.	26 530	Rechazado	Escala grande

Fuente: CDM y UNFCCC, 2010.

**CUADRO B-7**  
**CENTROAMÉRICA: STATUS DE PROYECTOS MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**

País	Status				Total
	Aceptados	Rechazados	Retirado	Solicitud en Proceso	
Belice	0	0	0	0	0
Costa Rica	6	0	0	0	6
El Salvador	6	0	1	1	8
Guatemala	11	2	0	0	13
Honduras	16	3	0	0	19
Nicaragua	4	0	0	0	4
Panamá	6	1	0	0	7
Centroamérica	49	6	1	1	57

Fuente: CDM y UNFCCC, 2010.

**CUADRO B-8**  
**CENTROAMERICA: TIPOS DE PROYECTOS MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**

País	Tipo de proyecto (solo incluye proyectos aceptados)							Total
	Hidroeléctricas	Energía eólica	Biomasa	Energía geotérmica	Aceite de palma	Bagazo de caña	Rellenos sanitarios y aguas residuales (Metano)	
Belice	0	0	0	0	0	0	0	0
Costa Rica	2	1	2	0	0	0	1	6
El Salvador	1	0	0	2	0	2	1	6
Guatemala	6	0	0	1	0	0	4	11
Honduras	9	0	1	0	4	1	1	16
Nicaragua	0	1	0	1	0	1	1	4
Panamá	5	1	0	0	0	0	0	6
Centroamérica	23	3	3	4	4	4	8	49

Fuente: CDM y UNFCCC, 2010.

## 13. EJES POTENCIALES DE OPCIONES DE POLÍTICAS PÚBLICAS

### 13.1 RESUMEN POR PAÍS DE POLÍTICAS E INSTITUCIONALIDAD

Los países de Centroamérica enfrentan la amenaza del cambio climático con vulnerabilidades sociales, económicas y ambientales, las cuales magnifican los riesgos. Para reducirlos han incorporado el tema del cambio climático a sus agendas políticas y están implementando estrategias, políticas, leyes y planes sectoriales nacionales y regionales, en diversos sectores como son energía, biodiversidad, áreas protegidas y recursos hídricos. Todos los países ratificaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) entre 1994 y 1995 y el Protocolo de Kioto entre 1998 y 2003. En la actualidad están preparando o han completado su segunda comunicación a la CMNUCC y han establecidos mecanismos para utilizar el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

### 13.2 POLÍTICAS E INSTITUCIONALIDAD

A continuación se presentan resúmenes de las políticas e institucionalidades nacionales en las cuales se trabaja el reto del cambio climático:

#### BELICE

El Ministerio de Recursos Naturales y del Medio Ambiente (MNRE) estableció el Comité Nacional de Cambio Climático (BNCCC) para asesorar al gobierno sobre la implementación de políticas y estrategias necesarias para asegurar el desarrollo económico a pesar del impacto del cambio climático. El Comité desarrolló un borrador sobre la política de adaptación al cambio climático titulado *"Government of Belize Policy on Adaptation to Global Climate Change"* (MNRE, 2008).

Esta política tiene los objetivos de aprovechar las oportunidades que surgen del proceso de negociaciones sobre cambio climático para alcanzar los objetivos de desarrollo de la nación; preparar a los sectores del país para enfrentarse al desafío del cambio climático global; promover incentivos económicos que fomentan la inversión pública y privada en medidas de adaptación; definir la posición de Belice en las negociaciones regionales e internacionales de cambio climático para promover los intereses económicos y ambientales del país y desarrollar el marco institucional apropiado para planificar y responder al cambio climático global. Así, los sectores de agricultura, energía, educación, ambiente, transportes, información, turismo, vivienda, zonas costeras, salud, recursos hídricos, pesca y bosques deberán integrar el factor cambio climático a sus políticas públicas.

En el marco del plan de desarrollo "Horizon 2030" (Gobierno de Belice, 2010), existe la propuesta de desarrollar el marco legislativo en materia de ambiente y cambio climático. La legislación ambiental de Belice incluye el plan estratégico y de acción para biodiversidad, regulaciones de pesca, acta de la autoridad de gestión de la zona costera y acta de forestería. El sector

de agricultura desarrolló un plan de reducción de riesgo para la agricultura y la pesca con FAO y PNUMA, cuyas metodologías pueden ser relevantes para acciones piloto en el sector.

## COSTA RICA

El Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica (MINAET) presentó la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) en 2007 (MINAET, 2009), la cual define los elementos básicos de su política. La ENCC busca responder a este problema global con un planteamiento nacional integral basado en acciones descentralizadas y amplia participación de los actores involucrados. Sus principios son la responsabilidad compartida y diferenciada, así como la conversión de la amenaza en oportunidades. La ENCC, está vinculada al Programa Nacional de Desarrollo de Costa Rica de 2006-2010 (MIDEPLAN, 2007) y a la iniciativa presidencial Paz con la Naturaleza (Gobierno de Costa Rica, 2005), e impulsa dos agendas complementarias: la nacional y la internacional. La agenda nacional gira en seis ejes estratégicos, los cuales se presentan en el diagrama 13.1.

**DIAGRAMA 13.1**  
**COSTA RICA: ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMATICO**



Fuente: MINAET, 2009.

La agenda internacional comprende los siguientes objetivos: incidencia internacional, atracción de recursos externos, liderazgo, legitimidad, presencia en foros multilaterales y binacionales y desarrollo de capacidades internacionales. Además de estas agendas, el MINAET impulsa el programa Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Plus (REDD+).

Costa Rica tiene las siguientes leyes que norman la implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático:

- Ley de regulación del uso de la energía, aprobada en 1994, que establece mecanismos para promover el uso eficiente de la energía y la protección del ambiente.

- Decreto 33096, aprobado en 2006, que exenta de impuestos la compra venta de vehículos híbridos.
- Ley para la gestión integral de residuos, aprobada el 25 de mayo de 2010, cuyo objeto es regular la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y sanitarias. Tiene los objetivos de garantizar el derecho a gozar de un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger la salud pública; fomentar los mercados de subproductos, materiales valorizables y productos reciclados, reciclables y biodegradables, entre otros, para impulsar la creación de empresas y generar nuevas fuentes de empleo, aumentar la competitividad y aprovechar los recursos para incrementar el valor agregado de la producción nacional, y finalmente promover la creación y el mejoramiento de infraestructura pública y privada para recolección selectiva, transporte, acopio, almacenamiento, valorización, tratamiento y disposición final adecuada de residuos.
- La ley de exención de tributos fiscales a los sistemas de tratamiento de aguas residuales para mejorar la calidad del agua, aprobada el 22 de febrero de 2011, declara de utilidad pública e interés social el tratamiento de todas las aguas residuales en el territorio nacional para mitigar su contaminación y promover el desarrollo sostenible de los sectores social, turístico, comercial, industrial y agrario. Para ello exenta de tributos fiscales la adquisición de sistemas para el tratamiento de aguas residuales y sus componentes, así como los materiales e insumos usados en su construcción.

En 2008 se presentó una iniciativa de Ley de Conservación de la Vida Silvestre a la Asamblea Legislativa, que está en proceso de aprobación. La iniciativa busca restablecer, de acuerdo a las nuevas realidades y paradigmas, la conservación y el manejo sostenible de la vida silvestre mediante un marco regulatorio de la investigación y la información generada como insumos para la toma de decisiones; promueve la centralización y sistematización de la información, utilizando las estructuras creadas por otras leyes como las de Biodiversidad, Pesca y Protección Fitosanitaria, y busca reactivar la capacidad operativa del MINAET para el manejo de la vida silvestre con recursos financieros accesibles y suficientes.

Desde 2009 se está discutiendo una iniciativa de ley para el uso de energías renovables y de eficiencia energética en la Asamblea Legislativa. La iniciativa propone incentivos fiscales como la reducción del impuesto sobre la renta por diez años para las empresas que aprovechen comercialmente las fuentes de energías renovables, crear un certificado por reducción de emisiones contaminantes, reconocer a las comunidades que utilizan fuentes de energía renovables, crear becas de investigación para el mejor aprovechamiento de las energías renovables, desarrollar proyectos hidroeléctricos y geotérmicos y dar incentivos para aprovechar los subproductos de las cosechas como biocombustibles de uso local.

## EL SALVADOR

La respuesta al cambio climático de El Salvador es coordinada por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y su marco legal es la Ley de Medio Ambiente de 1998. El MARN está desarrollando un plan nacional de cambio climático con propuestas sectoriales elaboradas por los ministerios relacionados y otros actores claves. El MARN cuenta con una Dirección de Cambio Climático y Asuntos Estratégicos.

El Programa de Gobierno 2009-2014 (Martínez y Sosa, 2009) expresa el compromiso de enfrentar el cambio climático con acciones dirigidas a conformar un programa nacional de adaptación, incluyendo acciones nacionales voluntarias de mitigación, ciencia y tecnología para la adaptación y la mitigación, educación y conciencia de la población. Entre sus objetivos están:

- Priorizar opciones de mitigación para reducir gradualmente el consumo de combustibles fósiles, estimulando la adopción de un modelo energético sustentable, limpio y eficiente a fin de disminuir la dependencia de las importaciones de los derivados de petróleo y apostar por el ahorro y la eficiencia energética y el uso de energías renovables.
- Promover la conservación, restauración y manejo sustentable de los sistemas naturales terrestres, acuáticos y marinos a escala nacional y regional para disminuir su vulnerabilidad climática.
- Conformar una comisión del más alto nivel científico, multidisciplinaria y plural, que contribuya al diseño de estrategias y medidas ante el cambio climático.
- Proponer una norma para controlar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por la industria, el sector energético y el manejo de suelo.
- Promover la sensibilidad y la conciencia pública, la educación, la investigación y el desarrollo y la transferencia de tecnología para propiciar la participación de toda la población en la creación de soluciones.
- Diseñar con urgencia los mecanismos para resarcir la deuda ecológica, así como el acceso a los fondos de adaptación y otras fuentes de financiamiento, investigación y transferencia de tecnología.
- Fortalecer la política de relaciones internacionales para unir esfuerzos, lograr acuerdos y vigilar el cumplimiento de los compromisos de la CMNUCC.

Un avance importante en esta década es el diseño de una política nacional de áreas protegidas (MARN, 2004). Las principales medidas que se pretenden tomar son:

- Identificar, legalizar y establecer jurídica y técnicamente las Áreas Nacionales Protegidas (ANP) a conservar.
- Formular un marco legal que regule las actividades relacionadas con la gestión de las ANP.
- Delegar la gestión de las ANP a organizaciones privadas o a instituciones autónomas.
- Promover que las ANP sean consideradas en los planes de ordenamiento y desarrollo nacionales, regionales, locales y privados.
- Contribuir al mejoramiento de la productividad sostenible de los ecosistemas en las zonas de amortiguamiento y regiones de influencia.

Actualmente se trabaja en una Política Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos para dar coherencia a la gestión pública del abasto de agua. La política incluye una Estrategia Nacional de los Recursos Hídricos y su respectivo Plan Nacional para la gestión de los asuntos prácticos. Paralelamente se elabora una propuesta de Ley General de Aguas para regular su uso, aprovechamiento y vertidos a nivel nacional.

## GUATEMALA

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) es la entidad pública especializada en materia ambiental y de bienes y servicios naturales. Su función es proteger los sistemas naturales en



todas sus formas; fomentar una cultura de respeto y armonía con la naturaleza y proteger, preservar y promover el uso sostenible de los recursos naturales para lograr un desarrollo transgeneracional, articulando el quehacer institucional, económico, social y ambiental. El MARN cumple su función en el marco legal vigente en coordinación con el resto de instituciones públicas en materia ambiental. De esta forma se promueve un marco amplio de políticas que definen objetivos y acciones estratégicas relevantes en relación con el cambio climático como las siguientes.

La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto 68-86) busca armonizar, definir y dar las directrices a los diferentes sectores para el mejoramiento del ambiente y la calidad de vida, el mantenimiento del equilibrio ecológico y el uso sostenible de los recursos naturales. La política ambiental persigue los siguientes objetivos:

- Conservar y proteger el ambiente y los recursos naturales con énfasis en la generación de conocimiento y prevención del deterioro ambiental.
- Mejorar la calidad ambiental.
- Promover el uso y el manejo sostenible de los recursos naturales.
- Promover la restauración ambiental.

La Política Energética y Minera 2008-2015 fue elaborada por el Ministerio de Energía y Minas en el 2007. Su principal objetivo es contribuir al desarrollo energético sustentable, asegurando el abastecimiento oportuno, continuo y de calidad a precios competitivos. Sus objetivos específicos incluyen:

- Aumentar la oferta energética del país a precios competitivos.
- Diversificar la matriz energética, priorizando las energías renovables.
- Promover de la competencia e inversiones.
- Promover el desarrollo sustentable a partir de los recursos renovables y no renovables del país.
- Incrementar la eficiencia y la integración energéticas.

El objetivo de la política forestal es incrementar los beneficios socioeconómicos de los bienes y servicios generados por los ecosistemas forestales y contribuir al ordenamiento territorial en áreas rurales a través del fomento del manejo productivo y de la conservación de los recursos naturales, con énfasis en los forestales y recursos asociados como la biodiversidad, el agua y los suelos. Persigue incorporar la actividad forestal a la economía en beneficio de la sociedad guatemalteca.

En el año 2001 fue elaborada una iniciativa de Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional que está en análisis en el Congreso de la República. Esta política propone los lineamientos para superar la inseguridad alimentaria y nutricional de una gran proporción de la población guatemalteca, especialmente indígenas en las áreas rurales y urbano-marginales. Estas condiciones representan un serio obstáculo para el desarrollo social y económico del país, por lo que el gobierno está comprometido a priorizar la reducción del hambre, la pobreza y la desnutrición, así como garantizar la seguridad alimentaria y nutricional.

La política de Educación Ambiental tiene por objetivo general promover la creación de una cultura ambiental mediante la transmisión, aplicación de conocimientos, formación de valores y actitudes que favorezcan el desarrollo sostenible del país. Sus objetivos específicos son:

- Incorporar la educación ambiental como eje transversal en el currículum del sistema educativo nacional.
- Promover, coordinar y realizar acciones encaminadas a la sensibilización de la sociedad para fomentar la responsabilidad de la conservación de los recursos naturales y la protección del ambiente.
- Orientar el desarrollo de la educación ambiental según las condiciones ambientales, sociales, culturales, políticas, económicas y de infraestructura del país.
- Incidir en grupos de población con potencial de ser multiplicadores de procesos, fortaleciendo sus conocimientos para el manejo racional de los recursos naturales y del ambiente.
- Inculcar un sentido de responsabilidad, valoración, equidad, solidaridad y participación en la problemática ambiental.

La Política de Desarrollo Social y Población tiene como fin crear y promover las condiciones sociales, culturales, políticas, económicas y jurídicas que faciliten el acceso de la población a los beneficios del desarrollo en condiciones de equidad de acuerdo con la dinámica y características propias de la población guatemalteca presente y futura. Su objetivo general es contribuir al desarrollo de la persona humana en los aspectos sociales, familiares, humanos y su entorno, con énfasis en los grupos más vulnerables. Esta política persigue dar respuesta a las necesidades planteadas por el volumen, estructura, crecimiento y distribución de la población en el territorio nacional.

El objetivo general de la Política Nacional de Cambio Climático es que el Estado de Guatemala, a través del gobierno central, las municipalidades, la sociedad civil organizada y la ciudadanía en general adopten prácticas de prevención del riesgo, de reducción de la vulnerabilidad y de la adaptación al cambio climático, contribuyan a la reducción de emisiones de GEI, coadyuven a la mejora de la calidad de vida de sus habitantes y fortalezcan su capacidad de incidencia en las negociaciones internacionales de cambio climático.

Los objetivos específicos incluyen: desarrollo de capacidades nacionales en cambio climático; reducción de la vulnerabilidad y mejoramiento de la adaptación al cambio climático; mitigación (reducción) de las emisiones de GEI.

Actualmente el Congreso de la República de Guatemala discute la Iniciativa de Ley 4139 “Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria ante los Efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero”. Su objetivo es establecer las regulaciones para prevenir, planificar y responder de manera urgente, adecuada, coordinada y sostenida a los impactos negativos del cambio climático en el país. Se propone constituirla en el marco de todo lo concerniente al cambio climático.

## HONDURAS

La Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) es el punto focal de Honduras ante la CMNUCC. La Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) fue presentada y validada por el Comité Técnico Interinstitucional de Cambio Climático (CTICC) y aprobada mediante el Decreto 046-2010. Actualmente, la Dirección Nacional de Cambio Climático de la SERNA está en proceso de revisión del Plan de Acción de la ENCC.

La ENCC es parte del proceso general de planeación; su propósito, enfoque, alcance y contenido se articulan con el Plan de Nación (2010-2022) y la Visión de País (2010-2038). La ENCC responde al lineamiento estratégico 7 sobre desarrollo regional, recursos naturales y ambiente, al 11 sobre adaptación y mitigación del cambio climático y al 12 que tipifica la gestión de riesgos y la recuperación temprana de los daños y pérdidas por desastres en los siguientes ámbitos de trabajo:

- La adaptación al cambio climático incluye las estrategias y medidas para aumentar la resiliencia y capacidad de adaptación de los sistemas humanos y naturales ante las manifestaciones del cambio climático con el fin de prevenir o reducir sus efectos adversos. Su objetivo es desarrollar sistemas de monitoreo y medición de las condiciones climáticas, alerta temprana de emergencias, monitoreo por sistemas de información geográfica, nuevas formas de aprovechamiento del suelo, buenas prácticas productivas, adopción de códigos de construcción para viviendas, edificios, vialidad y obras hidráulicas, gestión local y comunitaria del riesgo, ordenamiento territorial preventivo, almacenamiento de las aguas de lluvia y conservación de cuencas hidrográficas.
- La mitigación del cambio climático comprende las estrategias y medidas de reducción de las emisiones de GEI por fuentes y la fijación en sumideros de carbono para frenar el ritmo y magnitud del cambio climático mundial. Se trata de diseñar e implementar proyectos que utilizan fuentes renovables de energía (agua, viento, sol, biomasa y calor de la tierra, entre otras); proyectos sobre eficiencia energética en los sectores residencial, comercial e industrial; captura de metano de las aguas residuales industriales, confinamientos municipales, excrementos de animales y generación de electricidad con biogás; recuperación de áreas degradadas mediante actividades de reforestación, forestación y aforestación y actividades propuestas por REDD.
- La transferencia de tecnología para la mitigación y la adaptación.
- Fuentes de financiamiento necesarias para lograr estos objetivos.

La Visión de País 2010-2038 destaca los siguientes desafíos:

- Enfrentar el reto de la adaptación y mitigación del cambio climático mediante el fortalecimiento institucional de SERNA, formulación de una política nacional y dotación de recursos para desarrollar una acción sistemática de concientización y promoción de los instrumentos económicos aprobados por el CMNUCC, El Protocolo de Kioto y los sucesivos acuerdos que se aprueben.
- Incrementar los proyectos de energía renovable en la matriz de generación de energía eléctrica en el país, que deriven en la colocación de un mayor volumen de Certificados de Reducción de Emisiones (CERs) en los mercados internacionales.
- Iniciar un proceso sistemático de restauración ecológica y productiva en los territorios forestales en estado de degradación. Lo anterior no solo implica una mejora significativa de las condiciones ambientales del país, sino la posibilidad de acceder a recursos financieros por cientos de millones de dólares en los próximos años. Reducir la vulnerabilidad física y ambiental del país mediante una acción diferenciada de protección de centros urbanos con alta concentración poblacional y zonas productivas con peso específico significativo para el país.

Honduras ya fijó varios objetivos a mediano y largo plazo en legislación ambiental. Conforme a los documentos oficiales (Presidencia Constitucional de la República de Honduras, 2010), el

gobierno ha planteado para el año 2022 una serie de metas de marco institucional, sector privado, emisión de CERs y uso de los instrumentos financieros derivados de los acuerdos de la CMNUCC, reducción de vulnerabilidad física y de pérdida anual de cobertura forestal, utilización neta de recursos hídricos y mayor capacidad de represas para fines productivos.

## NICARAGUA

Los esfuerzos de Nicaragua para preparar a las comunidades ante el cambio climático son coordinados por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) a través de la Dirección General de Cambio Climático. Desde abril de 2010, Nicaragua cuenta con una Estrategia Nacional Ambiental y de Cambio Climático (ENACC) sustentada en el Plan Nacional de Desarrollo Humano, cuyos objetivos de política ambiental se resumen en cinco lineamientos (MARENA, 2007; 2010):

- Educación ambiental.
- Defensa y protección ambiental de los recursos naturales.
- Conservación, recuperación, captación y cosecha de agua.
- Mitigación, adaptación y gestión de riesgo ante el cambio climático.
- Manejo sostenible de la tierra.

La ENACC propone un cambio de actitudes y valores mediante un proceso educativo y de creación de conciencia sobre el cambio climático. Uno de sus objetivos es reducir la vulnerabilidad del pueblo nicaragüense. Otro es fortalecer las capacidades nacionales y locales para incorporar el cambio climático en las políticas de Estado y la gestión territorial e incidir en la definición de prioridades y en la toma de decisiones públicas. Nicaragua asume un compromiso global diferenciado ante el cambio climático. Su meta principal es lograr la adaptación de la población, y como país altamente vulnerable y con problemas de pobreza busca financiamiento para realizar las inversiones requeridas en infraestructura, así como en la aplicación de medidas para el desarrollo sostenible. Dentro del marco de la estrategia nacional existe un Plan de Acción para realizar proyectos concretos y la implementación de la ENACC pasará por las siguientes fases:

- Identificación de medidas de adaptación y mitigación que exigen fortalecimiento institucional.
- Inversión para fortalecer la generación, recolección y sistematización de la información hidrometeorológica a fin de mejorar los análisis integrados de amenazas, impactos, vulnerabilidad actual y futura y riesgos climáticos.
- Incrementar las capacidades nacionales para traducir la información de cambio climático en datos para diseñar políticas de adaptación como prioridad nacional, así como continuar los esfuerzos de mitigación.
- Transmitir conocimiento a todos los sectores, en especial a las comunidades vulnerables.

Nicaragua posee 21 cuencas hidrográficas, cuyos planes de manejo incluyen obras de cosecha de agua y regeneración de bosques para incrementar la captación de agua de lluvia y destinarla a riego, ganado y uso doméstico. La Ley Nacional de Agua es necesaria para mantener el uso eficiente del agua bajo el principio de equidad, priorizando el acceso al agua potable en cantidad y calidad.

El país ha incrementado sustancialmente la generación de energía de fuentes renovables, alcanzado un 36% en 2008 (SINIA y MARENA, 2008). La reducción de la generación de energía

termoeléctrica y el desarrollo de energías de fuentes renovables son parte del Plan Energético Nacional. Para ello se han iniciado importantes proyectos de hidroelectricidad, geotermia, energía solar y eólica, proyectando generar 90% de la energía de fuentes renovables para el año 2017.

Como parte de la política ambiental se han desarrollado importantes programas de manejo sostenible de la tierra para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria en zonas expuestas al cambio climático. Otros programas importantes son la Cruzada Nacional de Reforestación, los planes nacionales contra incendios forestales, la erradicación de plagas de los bosques, programas de vivienda digna con normas de reducción de riesgos, desarrollo de alternativas para el ahorro de leña y campañas nacionales de saneamiento, salud preventiva, erradicación de vectores y control de enfermedades.

Nicaragua trabaja en la elaboración de un conjunto de proyectos de ley que incluyen el cambio climático, como la Reforma a la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (Ley 217), la Ley de Aguas Nacionales, la Ley de Conservación y Utilización Sostenible de la Diversidad Biológica y la Ley de Tasas por Servicios y Derechos de Aprovechamiento del Ambiente. Las políticas relacionadas con el tema incluyen: Política Nacional de Participación Ciudadana en la Gestión Ambiental, Política de Biodiversidad, Política de Cuencas Hidrográficas de Nicaragua, Política de Suelos y Política de Tierra en Áreas Protegidas.

## PANAMÁ

El tema de cambio climático es coordinado por la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) con la creación, en el año 2005, de la Unidad de Cambio Climático y Desertificación (UCCD). Con la publicación de la Política Nacional de Cambio Climático en Gaceta Oficial 25764 del 4 de abril de 2007, respaldada por el Artículo 3 de la Ley N°41 de 1998, “General de Ambiente de la República”, se establece que le corresponderá al Órgano Ejecutivo aprobar la Política Nacional del Ambiente, como parte de las políticas públicas para el desarrollo económico y social del país. Se establece el Consejo Nacional de Ambiente y se aprueba la Estrategia Nacional del Ambiente (ENA): “Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible 2008-2012”, a través de la Resolución N° 001-08 de 16 de octubre de 2008. Se oficializa el Comité Nacional de Cambio Climático en Panamá (CONACCP) el cual es interministerial e intersectorial, a través de la Gaceta Oficial 26212 del jueves 29 de enero de 2009.

Después de la aprobación de la Política Nacional de Cambio Climático de Panamá (PNCC) en abril de 2007, el gobierno, por medio de la ANAM, persigue los siguientes objetivos a corto y mediano plazo:

- Gestionar adecuadamente el problema del cambio climático y sus posibles efectos sobre la población y el territorio, de conformidad con las disposiciones de CMNUCC, Protocolo de Kioto, Constitución Política de la República de Panamá y la Ley General de Ambiente (objetivo general).
- Desarrollar mecanismos de coordinación de estrategias de intervención a través de las cuales el sector público y la sociedad civil contribuyan al cumplimiento de los acuerdos asumidos por el Estado con relación al cambio climático, con las siguientes políticas:
  - Consolidar la Unidad Técnica Nacional de Coordinación de los temas relacionados con el cambio climático (UNTCCC).
  - Asegurar la participación permanente de Panamá en las discusiones, negociaciones y reuniones internacionales y nacionales sobre vulnerabilidad, adaptación y mitigación del cambio climático.

- Promover acciones de adaptación al cambio climático, de modo que sean compatibles con la protección de la población y la lucha contra la pobreza, la conservación y recuperación de los recursos naturales y la preservación de los ecosistemas. Sus políticas son:
  - Promover el desarrollo de programas de apoyo a las comunidades más vulnerables para lograr su adaptación a los efectos del cambio climático.
  - Fortalecer las redes de observación del clima para monitorear los parámetros e indicadores del cambio climático.
- Promover acciones de concienciación y participación ciudadana para involucrar a los actores claves en los diferentes procesos ligados a la gestión del cambio climático, destacando a la mujer por su comprobado papel protagónico en el proceso. Las políticas relacionadas incluyen:
  - Ejecutar un programa permanente de difusión y formación en el problema del cambio climático.
  - Formar un equipo interinstitucional especializado en la divulgación y educación ciudadana en el tema.
  - Establecimiento de un centro de información para el desarrollo de estrategias relativas al cambio climático en los sectores público y privado.
  - Fomento de microempresas comunitarias en MDL.
- Fortalecer las capacidades institucionales, tanto en infraestructura como en acceso al conocimiento actual y recursos de carácter científico de los actores relacionados con el cambio climático, de modo que el país esté en condiciones de enfrentar sus efectos con las siguientes políticas relacionadas:
  - Habilitar e incorporar a las comunidades en el diseño y formulación de los programas de adaptación y su puesta en marcha.
- Asegurar la participación informada de los actores, incluyendo autoridades locales, comunidades, organizaciones no gubernamentales (ONGs) y agrupaciones sociales.

Dentro de la ENA 2008-2012, la ANAM presentó las prioridades en términos de legislación ambiental. Varios proyectos de reformas legales e implementación de leyes estarán en la agenda en los próximos años con referencia al Sistema Nacional de Áreas Protegidas, manejo integrado de recursos hídricos, conservación y manejo del recurso forestal, reformas al Código Agrario, pago por servicios ambientales, valorización de residuos y marcos regulatorios para bioseguridad, incentivos económicos al saneamiento de las fuentes de contaminación.

La ANAM también prevé desarrollar una estrategia de negocios e inversiones ambientales comunitarias para ofrecer nuevas oportunidades de generar ingresos en actividades relacionadas al ecoturismo, servicios de apoyo a la investigación, servicios de apoyo a las áreas protegidas, reproducción de flora y fauna, producción de agua, restauración de cuencas, gestión de residuos y aguas residuales.



### 13.3 OPCIONES DE POLÍTICA PÚBLICA PARA LA ADAPTACIÓN

En este ambiente de formulación de políticas en Centroamérica, urge contar con los mejores análisis técnicos posibles para discutir las opciones de política pública. Considerando los resultados iniciales del proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica”, este capítulo tiene el propósito de sugerir algunas líneas de política pública a la consideración de las instituciones participantes.

Las medidas de adaptación suelen ser interpretadas como respuestas a las consecuencias del calentamiento global, mientras que las de mitigación son identificadas como esfuerzos para combatir sus causas mediante la reducción de las emisiones de GEI. En el caso de Centroamérica, atendiendo las orientaciones de los Ministros de ambiente, este capítulo se concentra en las medidas de adaptación y en la reducción de vulnerabilidades, en el marco de un patrón de desarrollo incluyente y sostenible con bajas emisiones de GEI. Se propone un esquema integrado, coherente y regional de políticas públicas productivas, sectoriales, sociales y ecosistémicas, reconociendo que su implementación presentará matices y viabilidades diversas en cada país. En este sentido es importante considerar las implicaciones de diferentes escenarios de respuesta:

Es posible que las políticas públicas en curso, incluyendo las fiscales, sigan una lógica tendencial que desemboque en estrategias adaptativas *ad hoc* e inadecuadas y hasta generadoras de mayor vulnerabilidad en el mediano y largo plazos, aunque resolvieran algunas urgencias. Las decisiones arraigadas en esquemas tradicionales de desarrollo agropecuario, políticas energéticas, uso del agua y formas de movilidad y transportación de personas y mercancías pueden pasar como “decisiones normales”, las cuales fortalecerían los intereses creados. En esta visión inercial, el cambio climático puede considerarse importante mas no atendible a cabalidad dadas las restricciones presupuestarias acentuadas por la recesión económica global y las urgencias sociales y económicas. Aún con la decisión de responder al cambio climático, la ejecución de medidas de adaptación separadas de las de mitigación podría ser impráctica y contraproducente para países con recursos fiscales y de inversión limitados.

Más recomendable sería lograr acuerdos nacionales, regionales e internacionales sobre estrategias adaptativas sustentables, las cuales podrían vincularse a medidas de transición a economías más sostenibles y bajas en carbono. Esto incluye la mitigación, especialmente cuando implica cobeneficios de adaptación como parte de un conjunto de instrumentos de gestión y tiempos de implementación creadores de circuitos virtuosos hacia el desarrollo sostenible e incluyente.

La recesión en curso y los cambios entre economías dominantes a nivel global y los riesgos de cambio climático requieren y presentan la oportunidad para revisar la especialización productiva de las economías de la región y sus formas de inserción en los mercados regional y global. Se recomienda considerar los vínculos entre los patrones energéticos, la factura de importación de hidrocarburos, sus emisiones contaminantes y la disminución de la salud pública, las debilidades de la infraestructura rural y urbana, la degradación de ecosistemas y la pérdida del acervo de recursos ambientales.

No solo se trata de repensar y redefinir las prioridades e instrumentos de las políticas públicas para evitar las respuestas inadecuadas, se trata de incentivar estrategias adaptativas sustentables que reducen vulnerabilidades y que son vinculadas a medidas de transición hacia un patrón de desarrollo sostenible, con mayor eficiencia en el uso de recursos naturales y menor contaminación, incluyendo emisiones de GEI. Se trata de vincular a los países con mercados y fuentes de

financiamiento potenciales internacionales y reorientar y aprovechar eficientemente recursos nacionales humanos, naturales, productivos y financieros.

Políticas públicas adaptativas sustentables que implican una transición a economías bajas en carbono, sostenibles e incluyentes podrían diseñarse ex ante en forma “empaquetada” y coherente a partir de sinergias intra e intersectoriales en grandes bloques con objetivos sectoriales y territoriales explícitos. Los resultados a la fecha sugieren explorar los ejes de opciones de políticas agrupados de la siguiente forma:

- Adaptación de la población humana mediante la reducción de la pobreza y la desigualdad, incluyendo seguridad alimentaria, gestión integral de recursos hídricos y reducción de impactos de eventos extremos mediante el ordenamiento territorial.
- Transición a economías sostenibles bajas en carbono y eficientes en el uso de recursos naturales e incluyentes, requiriendo cambios estructurales y tecnológicos en los sectores productivos para conseguir mayores empleos productivos, seguridad y eficiencia energética, manejo sostenible de recursos hídricos y bosques y reducción de la deforestación.
- Protección de los ecosistemas naturales para mejorar su adaptación y asegurar su provisión perdurable de servicios a los seres humanos.
- Medidas previsoras y proactivas de política fiscal y financiamiento como eje transversal, creando incentivos correctos para la transición económica y la adaptación.
- Aprovechamiento de las oportunidades de integración centroamericana, la cual es crítica para la gestión de recursos hídricos, energía, seguridad alimentaria, competitividad, comercio y negociaciones internacionales.

A continuación se detallan estas propuestas iniciales de opciones de políticas. Tendrán que validarse con análisis de costo y beneficio y la continuación de consultas y discusiones con los socios y expertos nacionales y regionales. Su implementación nacional seguramente presentará matices y viabilidades diversas.

## GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO

Aun sin cambio climático, la demanda por el agua aumentará significativamente en la región. Con el cambio climático se estima una disminución de la disponibilidad total de agua renovable, particularmente en los cinco países al norte de Costa Rica. Frente a este escenario futuro, las sociedades centroamericanas pueden dar un paso de adaptación fundamental si se vuelven gestoras atentas y eficientes de sus recursos hídricos. Si el indicador clave de los esfuerzos de mitigación es la reducción de emisiones CO<sub>2</sub>e, un indicador clave de adaptación será la eficiencia del uso del agua per cápita y por unidad del PIB.

La gestión integral del recurso hídrico es decisiva para responder al cambio climático en la producción agrícola y seguridad alimentaria, en el aumento de la hidroelectricidad y en la protección de los bosques, otros ecosistemas y su biodiversidad, y en asegurar acceso a agua potable y servicios de sanidad a toda la población. Los marcos institucionales nacionales de los recursos hídricos son variados y no siempre aptos para la gestión coordinada. Esta situación probablemente es uno de los mayores retos para enfrentar el cambio climático.

La gestión coordinada de este recurso a nivel regional es prioritaria, puesto que 40% del territorio está ocupado por cuencas transfronterizas. Establecer un sistema coordinado regional de

gestión integral del recurso hídrico parece ambicioso y requerirá mucha voluntad política y esfuerzo técnico y financiero durante varias décadas. No obstante, la región ya demostró capacidad al establecer un sistema integrado de suministro de energía eléctrica, el Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central (SIEPAC). El Sistema de Integración Centroamericana (SICA) ha reconocido la oportunidad y el reto del manejo integrado del agua desde finales de la década de los noventa. Actualmente el Subsistema ambiental de SICA (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC) y Comité Regional de Recursos Hídricos (CRRH) realiza un esfuerzo de coordinación para completar la Estrategia Centroamericana de Gestión Integral de Recursos Hídricos (ECAGIRH) con una perspectiva de diez años y elaborar un plan de tres años, el Plan Centroamericano para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PACAGIRH).

Esta estrategia reconoce el recurso como finito y vulnerable y lo considera como un bien público regional, económico, social y ambiental. La estrategia persigue cinco objetivos, considerando las necesidades antrópicas y ecosistémicas: lograr un pacto social basado en la diversidad y la participación, la coordinación e integración regional de las cuencas compartidas, la gestión del riesgo asociada con la variabilidad y el cambio climático, la valorización del recurso mediante el desarrollo de instrumentos económicos y el desarrollo tecnológico.

En función de los estudios y las consultas realizadas, se proponen las siguientes opciones para la gestión de los recursos hídricos:

- Manejar el agua en la forma de “ciclos cerrados”: protección de fuentes, colección sin desperdicio, tratamiento apropiado para su consumo, distribución sin fugas, consumo responsable, recolección, tratamiento, reutilización y reciclado del agua residual y su reintegración al ambiente, no sólo como “servicio de suministro y de saneamiento”.
- Integrar la planeación y el manejo del agua en “cuencas hidrográficas” en coordinación con todos los niveles de gobierno para desarrollar programas de trabajo por regiones político-administrativas y asegurar su viabilidad.
- Definir un volumen ecológico en términos del ambiente ideal al que se aspira como referente para acciones de conservación de la biodiversidad, bienes y servicios de los ecosistemas y de las reservas hídricas superficiales y subterráneas en el presente y en el futuro.
- Completar la cobertura del acceso al agua potable de la población viviendo en situación de pobreza.
- Crear un marco de negociación social de proyectos de infraestructura hídrica que supere el bagaje conflictivo del pasado y permita el desarrollo equitativo y sostenible de poblaciones aledañas a las obras y en las zonas de conservación.
- Establecer diseños y normas de infraestructura hídrica y planes de gestión flexibles ante posibles cambios estacionales, mayor variabilidad de precipitación y disponibilidad del agua a nivel espacial y temporal. Considerar diversas escalas de presas, incluyendo las minihidráulicas de abastecimiento para regiones específicas y analizar la conveniencia de tener proyectos de represas de múltiple uso: generación de hidroelectricidad, riego, consumo humano y gestión de flujos.
- Identificar las cuencas amenazadas por los impactos previstos del cambio climático y sus implicaciones para la producción hidroeléctrica, según la Estrategia Energética Sustentable Centroamericana 2020 (CEPAL y SICA, 2007), además de otros usos, como el riego.

- Expandir los planes de generación eléctrica por fuentes renovables como la solar y la eólica para diversificar la oferta futura ante la incertidumbre de disponibilidad de agua.
- Diseñar y reordenar los asentamientos humanos y las actividades económicas de acuerdo con la disponibilidad y el desfogue del agua. Por ejemplo, ampliar el desarrollo de sistemas descentralizados de captación de agua de lluvia a nivel doméstico y para servicios públicos y desarrollar sistemas de presas locales de diversos tamaños.
- Impulsar programas de saneamiento y salud pública en entornos rurales que, sin demandar grandes inversiones en infraestructura, podrían traer altos beneficios hídricos y sociales (tinajas ciegas, baños secos, ciénagas de oxidación, entre otras).
- Consolidar los programas de agua potable, saneamiento, alcantarillado, colecta, tratamiento y reutilización de aguas tratadas para regar áreas verdes, jardines, parques y camellones, entre otros.
- Promover una mayor eficiencia del consumo de agua y del consumo energético relacionado: eficiencia energética en bombeo, conducción y abastecimiento de agua de diferentes calidades y usos.
- Reforzar y ampliar los marcos legales, impulsando mejoras progresivas a las normas nacionales y programas de pago por servicios ambientales y de uso eficiente, ahorro, tratamiento y reciclaje del agua.
- Desarrollar una gestión adecuada de conflictos asociados a los embalses mediante el uso diversificado de presas y vasos reguladores: hidroelectricidad, piscicultura, ecoturismo, riego agrícola, educación ambiental, beneficios directos a pobladores del lugar, etc.
- Desarrollar campañas de información pública y alentar la participación responsable de todos los sectores como apoyo político y social para instrumentar el uso eficiente y protección del recurso.
- En el sector municipal controlar las fugas de agua, asegurar el uso final eficiente mediante tarifas progresivas y justas por volumen de consumo, ampliar y combinar fuentes de agua (reutilizadas, superficiales y subterráneas, especialmente la captura de agua de lluvia) para restaurar el caudal ecológico, recargar acuíferos y fuentes alternas de agua potable y desarrollar normas de construcción de vivienda y programas de hipotecas verdes.
- En el sector agropecuario implementar opciones de ahorro de agua como represas locales, nivelación de suelos, reducción de la evaporación con cama de rastrojo, monitoreo de la humedad del suelo y del agua precipitada y uso eficiente del agua de riego, reubicar la agricultura más sensible a zonas con la precipitación requerida, desarrollar cultivos con menor consumo de agua y más resistentes a la sequía, coordinar la planificación agrícola con la hídrica y promover el uso responsable de fertilizantes y plaguicidas para prevenir la contaminación del agua.
- En el sector industrial y de servicios, incluyendo el turismo, implementar certificaciones comerciales como la norma ISO 14000, que prevé el uso eficiente, reciclaje y no contaminante del agua; incentivar económica y fiscalmente el reemplazo de tecnologías de uso intensivo de agua por las de uso eficiente (por ejemplo, el beneficio seco del café y la reutilización del agua de enfriamiento en el procesamiento del azúcar) y evitar vertidos de descargas industriales sin tratar.
- Fomentar la transportación fluvial ordenada dentro de los países y el cabotaje entre países y a escala de toda la región.

- Consolidar y fortalecer la institucionalidad nacional y regional del sector.
- Desarrollar un plan maestro de gestión integral de recursos hídricos para Centroamérica con un portafolio de proyectos financiables, promoviendo la integración regional en esta área vital para la población y las economías.

## SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SOSTENIBLE

El sector agropecuario enfrenta el cambio climático en condiciones de alta vulnerabilidad a aumentos marginales de temperatura y cambios de precipitación. Los efectos aumentarán con el avance del siglo, especialmente en el escenario A2. Habrá impactos especialmente en la producción de granos básicos, en la agroindustria, en la economía familiar de pequeños productores y trabajadores agrícolas y en la seguridad alimentaria por medio de aumento de precios de los alimentos y/o su escasez, dependiendo de las posibilidades de importaciones compensatorias.

A nivel regional existe preocupación por el impacto del cambio climático sobre la agricultura y la seguridad alimentaria, lo cual ha sido objeto de diálogo político de alto nivel. La Estrategia Regional Agroambiental y de Salud (ERAS) fue aprobada por los Ministros de Ambiente, Salud y Agricultura en abril de 2008 y ratificada por los presidentes de los países en la Cumbre de San Pedro Sula en mayo del mismo año. La estrategia se basa en una visión intersectorial y abarca cinco ejes: manejo sostenible de tierras, variabilidad y cambio climático, biodiversidad, negocios agroambientales y espacios y estilos de vida saludables (SICA, CCAD y CAC, 2008).

El Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC), en su Política Agrícola Centroamericana 2008—2017, incluye un apartado de Gestión Ambiental con una Estrategia Regional Agroambiental que promueva procesos productivos para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental, social y económica, contribuyendo a la reducción de la pobreza e incorporando el manejo de los recursos naturales para consolidar el Corredor Biológico Mesoamericano (CAC, 2010). En 2010 el CAC aprobó la Estrategia Centroamericana de Desarrollo Rural Territorial (ECADERT), confirmando la necesidad de tomar acciones de adaptación y mitigación en el sector agropecuario (CAC, 2010).

Desde inicios de la década del año 2000, el CAC ha propuesto acciones para enfrentar los efectos del cambio climático, en particular las sequías. La Estrategia para el manejo de la sequía en el sector agropecuario de Centroamérica incluye el objetivo de reducir la vulnerabilidad y el impacto de las sequías, mejorando el conocimiento de sus causas y de las posibilidades de influir sobre ellas y adaptar la agricultura al calentamiento global y al avance de la desertificación. La estrategia comprende las siguientes áreas: fortalecimiento institucional, información y comunicación, ciencia y tecnología, educación y capacitación, financiamiento y cobertura de riesgos, cooperación internacional, seguridad alimentaria y comercio (CAC, 2002).

Igual que en recursos hídricos, en el sector agropecuario hay oportunidades de sinergias que justifican una respuesta regional coordinada. Éstas incluyen el reforzamiento de la capacidad de alimentar a la población de acuerdo con un enfoque regional que considere las posibilidades de producción y las opciones de fortalecer el comercio intrarregional de alimentos. En este sentido se identificó la necesidad de formular políticas aduaneras que faciliten el flujo de alimentos entre los países del SICA. Otra opción es crear reservas estratégicas nacionales y regionales de alimentos básicos. La ERAS propone crear un sello regional para productos agroambientales.

Algunas opciones de respuesta a la amenaza del cambio climático en el sector agropecuario y para la seguridad alimentaria pueden ser las siguientes:

- Desarrollar seguros agrícolas e instrumentos de cobertura para riesgos del sector, tales como fondos de contingencia y mecanismos de financiamiento rural y de gestión de riesgos para disminuir costos y potenciar los beneficios netos ante escenarios de mayor temperatura, menor precipitación y probable mayor intensidad de eventos hidrometeorológicos (sequías, inundaciones y huracanes).
- Ampliar créditos e incentivos a la inversión en producción sostenible y adaptativa frente al cambio climático, particularmente para alimentos básicos y para aumentar la eficiencia del uso de agua y reducir el uso de insumos emisores de GEI y con otros efectos contaminantes.
- Analizar la factibilidad de ampliar la cobertura de áreas de riego en función de los escenarios climáticos y tecnologías eficientes disponibles. Evitar autorizaciones indiscriminadas de mayor o ineficiente consumo de agua ante riesgos de sequías intensas, induciendo cambios a cultivos con menor consumo de agua y la diversificación productiva de las economías rurales.
- Establecer y fortalecer programas de extensión e intercambio de experiencias en prácticas de cultivo, manejo postcosecha y mercadeo que mejoren el ingreso y la resiliencia a la variabilidad y el cambio climático.
- Proteger y fomentar el desarrollo de las variedades criollas de alimentos y productos agropecuarios básicos y su clasificación e intercambio entre productores como medida de adaptación al cambio climático.
- Diversificar las fuentes de ingreso de la población rural con una perspectiva de sostenibilidad, incluyendo pago por servicios ambientales, manejo sostenible de cuencas, agroforestería, cosecha de productos no maderables, bonos de reducciones de emisiones de GEI, cultivo y procesamiento de productos orgánicos para mercados “verdes” o solidarios internos e internacionales, como el café orgánico de sombra.
- Ampliar la colección de datos climáticos y el análisis de sus potenciales impactos con un sistema de divulgación de pronósticos y alerta que permita un acceso amplio de los productores a recomendaciones relativas a los ciclos productivos.
- Racionalizar el uso de la tierra para reducir la producción agrícola en zonas no aptas en función del tipo de suelos, de cambios previstos en precipitación y de temperatura, e intensificándola en zonas aptas con atención al ingreso de productores pobres y la conservación de ecosistemas naturales.
- Recuperar y restaurar tierras degradadas, promoviendo su manejo sostenible con tecnologías apropiadas, especialmente en las áreas secas.
- Ampliar la formalización de la tenencia de la tierra, incluyendo tenencia colectiva, comunitaria y de los pueblos indígenas.
- Aumentar el acceso de poblaciones rurales a servicios de educación y salud y fuentes de energía renovables como la solar y presas hidroeléctricas de menor escala, como las propuestas por la Estrategia Energética Sustentable Centroamericana 2020 (CEPAL y SICA, 2007).
- Reorganizar el consumo energético de las economías rurales: manejo adecuado de la biomasa leñosa, entérica y residual para crear circuitos sostenibles de energía y producción.



- Impulsar proyectos de ganadería intensiva, ganadería sostenible, manejo agrícola y energético de desechos orgánicos rurales (estiércol), incluyendo plantas recuperadoras de metano y diversificación ganadera con fauna silvestre a baja escala.
- Considerar el impulso a la bioenergía rural, evaluando cuidadosamente el ciclo de vida de las opciones de bioetanol y biodiesel por sus requerimientos de agua, territorio, energía, agroquímicos y su rivalidad con otros cultivos, forrajes y alimentos en cantidades y precios.
- Ampliar las redes de productores y los servicios de innovación y extensión agrícola para identificar y difundir opciones de adaptación sostenible: cambios de cultivos y de variedades, manejo de fertilidad y retención del suelo, colecta, almacenamiento y uso eficiente del agua, tiempos de siembra, cosecha y manejo postcosecha y agroforestería. Este renglón exige atención a la agrobiodiversidad, considerando las opciones tecnológicas disponibles, tanto las “modernas” como la identificación, conservación e intercambio de variedades y prácticas criollas, particularmente entre los productores de pequeña escala, afrodescendientes y de pueblos indígenas como “acervo estratégico.”
- Incorporar los análisis del cambio climático a las estrategias nacionales para el sector y coordinar esfuerzos con los actores responsables para reducir la deforestación, proteger la biodiversidad y gestionar los recursos hídricos.
- Vincular explícitamente las decisiones de desarrollo agrícola, ganadero y rural con las medidas y metas del freno a la deforestación y a la conservación de sus servicios ambientales, incluyendo su función en la gestión integral del agua y como sumideros de carbono.
- Avanzar en la seguridad alimentaria regional mediante la complementariedad productiva de los países y el fomento del comercio intraregional, impulsar la productividad del conjunto de productores de granos y otros alimentos básicos y la competitividad de los agronegocios y la cadena agroindustrial. De acuerdo con las políticas centroamericanas, fortalecer los mecanismos regionales de sanidad agropecuaria, inocuidad de los alimentos, innovación tecnológica y eficiencia energética.
- Consolidar cadenas productivas energéticamente eficientes, mercados intra y extrarregionales de comercialización agropecuaria y desarrollar mercados con eco-etiquetas y marcas ambientales reconocidas.

## REDUCCIÓN DEL IMPACTO DE EVENTOS EXTREMOS

Frente al aumento de la frecuencia de los eventos extremos y los escenarios de probable intensificación por el cambio climático, la región necesita tomar acciones con un enfoque proactivo, integral e intersectorial de prevención y reducción de sus efectos negativos, superando la respuesta de reacción. Una lección de la experiencia con eventos extremos es que las sociedades tienen que prepararse para el cambio climático en un contexto de incertidumbre sobre sus múltiples impactos. Esto requiere tomar medidas de prevención y reducción de vulnerabilidades y fortalecer los sistemas de alerta y respuesta con la mejor información disponible y, al mismo tiempo, generar mayores capacidades de pronóstico a escalas nacional y local (Landa, Magaña y Neri, 2008). La sensibilidad de la región ante los crecientes impactos de eventos extremos demanda respuestas concretas y una cultura de convivencia con la naturaleza, con las consecuentes prácticas socioeconómicas y de uso del territorio. Ante estos retos, las opciones de adaptación al impacto de eventos extremos incluyen las siguientes:

- Integrar criterios de prevención y control de desastres en las estrategias de reducción de pobreza, programas de asentamientos, infra-estructura, equipamiento y vivienda.
- Establecer leyes, programas e incentivos para el diseño y renovación de asentamientos y viviendas resistentes a los eventos extremos, eficientes en uso del agua y otras consideraciones bioclimáticas, adaptables a las condiciones locales mediante tecnologías adecuadas al medio y las comunidades.
- Elevar el nivel de seguridad ambiental de la infraestructura básica, incluyendo carreteras, puentes, infraestructura educativa y sanitaria y obras hidráulicas, coordinando inversiones entre los ministerios de infraestructura y obra pública, hacienda y sectoriales.
- Implementar estrategias de uso de suelo y planes de ordenamiento territorial basados en análisis técnicos que incluyan la vulnerabilidad climática, para determinar los mejores usos urbano, agrícola, forestal y de los ecosistemas naturales, incluyendo las áreas protegidas<sup>1</sup>.
- Reforestar áreas costeras, laderas y áreas proclives a deslizamientos como parte de programas de uso sustentable y mejoramiento de la calidad de vida, acciones que pueden contribuir a reducir las emisiones de GEI o ser objeto de pago por servicios ambientales. Igualmente, restablecer manglares como barreras de protección costeras, las cuales son benéficas para la productividad pesquera y el ecoturismo local.
- Concientizar a la población para la prevención de desastres y generar procesos de organización y educación comunitaria alrededor de medidas de mitigación de impactos de eventos extremos, incluyendo viviendas seguras, reubicación de comunidades, planes de reacción local, refugios, depósitos de emergencia y otras acciones de mitigación, autoprotección y autoayuda.
- Establecer sistemas de monitoreo de fenómenos naturales y antropogénicos para emitir alertas tempranas.
- Profundizar los estudios de escenarios futuros de la intensidad y frecuencia de eventos extremos y sus costos, afinar las metodologías de valorización económica y precisar requerimientos de fondos de contingencia.
- Evaluar los eventos climáticos pequeños y medianos de impacto local y recurrencia alta para estimar mejor el riesgo.
- Adoptar los lineamientos del Marco de Acción de Hyogo (ONU, 2005) para promover una cultura de prevención y reducir el riesgo de desastres con miras a un desarrollo humano sustentable.
- Elaborar políticas nacionales en la materia e incorporarlas a los planes de desarrollo nacional y a las estrategias, planes y proyectos sectoriales.
- Mejorar la capacidad de los sistemas nacionales de prevención y atención de desastres para diseñar, promover y ejecutar políticas de administración y contar con normas adecuadas de protección civil y gestión de desastres.

---

<sup>1</sup> El ordenamiento ambiental y urbano del territorio es una de las estrategias fundamentales para alcanzar el desarrollo sustentable y una distribución geográfica más óptima de la población, de sus actividades y de la riqueza nacional y para prevenir daños y pérdidas por eventos extremos. Por ejemplo, el asentamiento urbano extendido tiende a deteriorar los sistemas de soporte de su cuenca/región al obtener energía y materiales. Los asentamientos compactos permiten un ordenamiento urbano de baja ocupación de suelo y, por tanto, preservan la biodiversidad y facilitan la incorporación de una matriz energética baja en carbono, técnicas constructivas que reduzcan el consumo de energía en hogares y transporte y optimizan la infraestructura y equipamiento.

- Fortalecer los mecanismos regionales de gestión de riesgos y desastres, incluyendo la labor del CEPREDENAC y del Foro Regional de Clima.
- Establecer metas específicas para los objetivos del Plan Regional de Reducción de Desastres 2006-2015 (CEPREDENAC, 2006) e impulsar la evaluación de sus indicadores y mecanismos de seguimiento.

#### REDUCCIÓN DE LA POBREZA Y LA DESIGUALDAD, INVERSIÓN EN LAS CAPACIDADES DE LA POBLACIÓN EN SITUACIÓN DE POBREZA Y PROMOCIÓN DE PATRONES DE CONSUMO SOSTENIBLE

Los hogares en situación de pobreza y vulnerabilidad tienden a descapitalizarse al enfrentar adversidades como las enfermedades catastróficas y choques externos como los eventos extremos, las crisis financieras y probablemente cada vez más los impactos del cambio climático. Las limitaciones de cobertura y calidad de los servicios de salud, así como la reducción del acceso a agua, alimentos e ingresos y cambios en patrones de enfermedades podrían provocar un debilitamiento serio del estado de vida de esas poblaciones. El reducido gasto social por habitante limita la resiliencia y las capacidades de adaptación.

Intensificar los esfuerzos para mejorar la calidad de vida de la población centroamericana que vive en la pobreza es esencial como derecho y como condición para transitar a economías más sostenibles. Las estrategias de reducción de pobreza y de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) deben integrar los posibles impactos del cambio climático. La respuesta debe tomar en cuenta opciones de transformación productiva con equidad (CEPAL, 2010g). El mayor acceso a un uso más eficiente de energías renovables, de los recursos hídricos y de los servicios ambientales, podría contribuir a incrementar el bienestar social general. Pero adicionalmente se requiere implementar acciones institucionales a escalas nacional y regional en favor de la red de protección social, la salud pública, la educación, la capacitación, la información, la equidad de género, la protección civil, la generación de empleos “verdes” y la conservación y buen uso del capital natural (territorio, energía, agua y biodiversidad).

Se estima que en Centroamérica más de ocho millones de personas (alrededor de 1 millón 500 mil hogares) no tienen acceso a la energía eléctrica y 19 millones de personas (alrededor de 3 millones 500 mil hogares) consumen leña como energético principal. En Nicaragua, Guatemala y Honduras este energético representa 60%, 42% y 36%, respectivamente, de la energía consumida domésticamente. Por ello el mayor acceso y mejor uso de las energías renovables resulta crucial (véase el cap. 9).

Sin idealizar la situación de las poblaciones pobres de la región, incluyendo campesinos y poblaciones indígenas, es importante reconocer que sus conocimientos, prácticas, cosmovisiones, estilos de vida y especies utilizadas y domesticadas forman un acervo importante, aunque subvalorizado, para enfrentar el cambio climático y transitar hacia el desarrollo sostenible. Es importante realizar mayores esfuerzos para integrar, valorizar y reconocer estos acervos y las poblaciones que los mantienen.

El IPCC y el Informe Stern consideran probable que las emisiones per cápita de las poblaciones que viven en pobreza deberían aumentar al menos a mediano plazo para mejorar su calidad de vida, aun en un marco de desarrollo sostenible. Algunas medidas para reducir las emisiones de GEI podrían beneficiar a las poblaciones en situación de pobreza, como son la ampliación de servicios de transporte público, programas de eficiencia energética en alumbrado doméstico y electrodomésticos

y acceso a energía eléctrica, incluyendo la generada por hidroeléctricas de pequeña escala o por paneles solares. De esta forma se podrán crear sinergias con los programas de combate a la pobreza.

Es igualmente probable que las emisiones per cápita de las clases medias y altas de Centroamérica se acerquen a las de sus homólogos en los países desarrollados. La educación de los consumidores puede ser realizada por entidades públicas y sociales y empresas privadas ya comprometidas con economías bajas en carbono. Esto ayudaría a bajar las emisiones nocivas y establecer una nueva meta social de progreso y buena calidad de vida.

Con estas consideraciones, las posibles medidas de adaptación que se deberán evaluar en los esfuerzos de reducir la pobreza y mejorar la calidad de vida incluyen las siguientes:

- Explorar la factibilidad de establecer una red de protección social no limitada a la población del mercado laboral formal y a programas focalizados, sino “un sistema básico de ingresos parciales garantizados, cautelando la responsabilidad fiscal y evitando incentivos perversos” (CEPAL, 2010g).
- Establecer metas específicas de disminución de la pobreza, desigualdad social y mejoramiento del bienestar social neto a escalas nacional y regional en las próximas décadas como punto de partida de la respuesta al cambio climático.
- Ampliar la cobertura de los programas de transferencias condicionadas a familias pobres para complementar el ingreso, incentivar el uso de servicios de salud y educación y agregar componentes que incentiven la adaptación al cambio climático y la producción sostenible y baja en carbono.
- Reforzar la formación profesional y técnica para la transición a una economía eficiente en recursos naturales y baja en carbono con implicaciones para sectores, productos “ascendentes” y perfil del empleo.
- Acordar pactos laborales y ampliar los espacios de negociación colectiva para mejorar el potencial distributivo del salario mínimo, regular condiciones de subcontratación y trabajo a domicilio, mitigar la vulnerabilidad de los trabajadores informales y crear mecanismos de protección a los desempleados.
- Ampliar y adaptar los servicios de salud tanto del sistema formal como las redes de salud comunitaria.
- Aprovechar sinergias entre acciones que mejoran la salud como el acceso al agua y su uso eficiente, la protección de la seguridad alimentaria, la reducción del uso y contaminación de hidrocarburos, mayor uso de estufas de leña mejoradas y ampliación del acceso a electricidad generada con recursos renovables.
- Redoblar esfuerzos de extensión de la cobertura y calidad de la educación por su importancia para reducir la desigualdad entre generaciones y para formar a la población.
- Promover que cada proyecto de desarrollo social incluya explícitamente un análisis de los riesgos del cambio climático y adopte medidas de adaptación y sostenibilidad. Por ejemplo, mejorar la resiliencia de la infraestructura educativa y de salud frente a eventos extremos y adecuar su diseño para uso como refugios.
- Realizar un amplio esfuerzo de educar a la población sobre el cambio climático, patrones de vida sostenibles y derechos relacionados con protección del ambiente.
- Crear incentivos económicos y sociales para que la población, especialmente la de ingresos medios y altos, cambie sus patrones de consumo.

- Inducir mayor acceso y mejor uso de las energías renovables por la población rural y urbana: proyectos de manejo energético de los desechos orgánicos, de plantas recuperadoras de metano en entornos rurales, rellenos sanitarios en entornos urbanos, difusión del uso de estufas de leña ambientalmente adecuadas y proyectos comunitarios sustentados en energía eólica, solar, hidroeléctrica, minihidráulica, etc.
- Reorganizar el consumo energético de las economías rurales: manejo adecuado de la biomasa leñosa, entérica y residual para crear circuitos sostenibles de energía y producción que fomenten la diversificación de las actividades económicas: conservación ecológica, aprovechamiento sostenible de recursos naturales, servicios ambientales y especies de flora y fauna, vínculos entre agronegocios y circuitos de certificación y comercialización regional y extra-regional.
- Garantizar un mejor acceso y uso más eficiente de la energía convencional y del agua, evitando desalentar la expansión de las energías renovables.
- Implementar la Política Agrícola Centroamericana 2009-2017 (CAC, 2007) y establecer metas específicas de seguridad alimentaria mediante el reordenamiento productivo del territorio y la oferta de granos básicos, cárnicos y lácteos.
- Impulsar un programa regional de recalificación laboral y reinserción productiva que integre la diversificación de actividades económicas rurales, el mayor acceso y uso de energías renovables en ambientes rurales y urbanos, la nueva construcción inmobiliaria y edificación ecoeficiente de viviendas, infraestructura pública y equipamientos urbanos y rurales.
- Realizar mayores esfuerzos para integrar, valorizar y reconocer los acervos de conocimientos, prácticas, cosmovisiones, estilos de vida y especies utilizadas y domesticadas de las poblaciones indígenas y rurales de la región, las cuales podrían aportar estilos de vida menos depredadores al ambiente.

#### **FORTALECIMIENTO DE SISTEMAS DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA Y NORMAS TÉCNICAS EN APOYO A LA ADAPTACIÓN Y LA TRANSICIÓN A ECONOMÍAS BAJAS EN CARBONO**

El acceso a la tecnología para la adaptación y la mitigación es de suma importancia para los países en vías de desarrollo y objeto de intensos debates en las negociaciones internacionales de cambio climático. Es útil enmarcar este tema en la discusión sobre estrategias de desarrollo nacional: qué sectores apoyar a futuro y cómo reducir las brechas de productividad con el resto del mundo y entre sectores y actores económicos en los países. Se recomienda apostar por sectores productivos seleccionados según la potencialidad de innovación de cada país; promover la creación y disseminación tecnológica en perspectiva nacional e internacional y apoyar explícitamente a las pequeñas y medianas empresas (pymes).

Esta estrategia requiere la acción del Estado, una robusta banca de desarrollo, inversión pública en investigación y desarrollo e infraestructura, así como una coordinación entre el Estado y agentes privados y sociales. En el contexto del cambio climático, esta coordinación incluye impulsar sistemas productivos más sostenibles que aumenten la eficiencia energética, transiten a fuentes renovables de energía y reduzcan emisiones de GEI y otros contaminantes (CEPAL, 2010g).

En relación con la importancia de identificar y aprovechar la experiencia de la región, se pueden hacer dos observaciones. La internacionalización de empresas conlleva la adquisición de

nuevos conocimientos sobre mercados, métodos de organización y tecnologías de producción. Ciertas empresas centroamericanas están pasando por esta etapa y otras ya tienen políticas de reducción de impacto ambiental y/o de carbono. Por otra parte, los pueblos indígenas y las poblaciones campesinas conservan prácticas, variedades de productos y conocimientos locales que constituyen un acervo estratégico que para el desarrollo sostenible y la conservación del ambiente y de la biodiversidad.

Considerando los retos de adaptación que podrían enfrentar estas poblaciones, será importante asegurarles los medios necesarios para que protejan y aprovechen sus acervos y fortalezcan sus capacidades de innovación y conservación. Es importante reconocer, apoyar y asegurar la participación de estos grupos en la investigación y el desarrollo de opciones tecnológicas. En este contexto, las opciones de adaptación al cambio climático en tecnología e innovación incluyen las siguientes:

- Crear una línea de trabajo intersectorial sobre cambio climático con las instituciones del sector y las de ambiente y economía, incorporando el análisis de los escenarios de cambio climático y las opciones de respuestas a los planes de ciencia, tecnología e innovación nacionales y regionales.
- Identificar los elementos de política de ciencia, tecnología e innovación disponibles para los países después de los acuerdos de la Organización Mundial de Comercio (OMC) que limitan el apoyo directo a las empresas locales y el uso de tecnologías desarrolladas por otros países.
- Insistir en las negociaciones internacionales sobre el acceso necesario, incluyendo el financiamiento, a tecnologías de adaptación y mitigación en un régimen “especial” o “de excepción” a los convenios de la OMC para países en vías de desarrollo, considerando el clima como bien público global y el alto riesgo asociado al cambio climático.
- Concebir la ciencia, la tecnología y la innovación en forma integral, reconociendo el potencial de las formas “tradicionales” autóctonas y a las poblaciones que las practican como interlocutores válidos en la generación de respuestas al cambio climático.
- Aumentar la capacidad de absorción tecnológica con mayor inversión en capital humano en todos los niveles educativos y en innovación, fortaleciendo los esfuerzos de vinculación con las fuentes de creación de tecnologías de interés.
- Fortalecer la evidencia para la toma de decisiones sobre cambio climático, desarrollando la cooperación entre universidades, centros de investigación, empresas, asociaciones civiles, cooperantes y Naciones Unidas para:
  - Ampliar la red de servicios meteorológicos, hidrológicos y marítimos;
  - Aumentar la capacidad de investigación aplicada de los impactos del cambio climático y de tecnologías apropiadas para la adaptación y la transición a economías bajas en carbono;
  - Evaluar y divulgar experiencias locales apropiadas y conocimientos autóctonos y de otras partes del mundo para la adaptación y el desarrollo sostenible;
  - Fortalecer la capacidad para crear y gestionar planes de adaptación y reducción de emisiones, mecanismos financieros y sistemas de compensación;



- Desarrollar un sistema de medición del contenido carbónico de los principales productos de exportación y de los patrones de consumo;
- Preparar los análisis técnicos para formular normas que incentiven la toma de decisiones adecuadas por los actores económicos y sociales en infraestructura, transporte, vivienda, maquinaria y otros.

## PROTECCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS PARA MEJORAR SU ADAPTACIÓN Y SU PROVISIÓN PERDURABLE DE SERVICIOS

La biodiversidad y los ecosistemas contribuyen de diversas formas a los procesos de producción, distribución y consumo. Su valor económico es incuestionable pero no se refleja adecuadamente en los precios de mercado. Gran parte de los servicios ecosistémicos de Centroamérica no son valorizados, así que es difícil esperar que su valor sea “incorporado” a tiempo en los mercados para incentivar decisiones correctas sobre su uso y preservación. Las señales de pérdidas económicas vía productividad agrícola, disponibilidad de agua y otros indicadores llegarán cuando estos activos se hayan agotado, lo que ocurrirá aun sin cambio climático.

Centroamérica cuenta con un Sistema Centroamericano de Áreas Protegidas y realiza esfuerzos para conservarlas. El cuadro 13.1 reporta más de 12 millones de hectáreas protegidas en un total de 557 ANP. El país con mayor extensión de ANP es Guatemala. También se está avanzando en la protección de áreas marinas y costeras con un total regional de 145. La región cuenta con varios programas o estrategias de protección y adaptación: Programa Regional para el Manejo de los Ecosistemas Forestales y Política Centroamericana para la Prevención de Incendios Forestales, entre otros.

**CUADRO 13.1**  
**CENTROAMÉRICA: SISTEMAS NACIONALES DE ÁREAS PROTEGIDAS 2003**  
(En número, hectáreas y porcentajes)

País	Áreas protegidas terrestres			Áreas protegidas marinas y de litoral Número
	Número	Extensión (ha)	% del Territorio nacional	
Belice	74	1 071 664	47,2	51
Guatemala	123	3 197 579	29,4	39
Honduras	76	2 220 111	19,7	2
El Salvador	3	7 111	0,33	4
Nicaragua <sup>a</sup>	76	2 242 193	17,0	21
Costa Rica <sup>b</sup>	155	1 288 834	25,2	5
Panamá	50	2 941 386	26,0	23
Total	557	12 968 609		145

<sup>a</sup> La extensión de las áreas de Nicaragua está en proceso de redefinición por el SINAP.

<sup>b</sup> El SINAC de Costa Rica cuenta con varias áreas protegidas que incluyen categorías de manejo de áreas marino-costeras. Las porciones marinas se encuentran en revisión y no se incluyen en esta tabla.

Fuente: CCAD (2003a).

Los siete países han establecido el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) con los estados del sur-sureste mexicano para la conservación de la diversidad biológica y la promoción del desarrollo humano sostenible en la región (CCAD, 2002b; CBM, 2010). Sus objetivos son:

- Mejorar la calidad de vida de la población mediante la conversión del CBM en catalizador del desarrollo sostenible y en instrumento para disminuir la vulnerabilidad de la región ante desastres naturales.
- Fomentar la colaboración entre los países de la región para alcanzar la sostenibilidad ambiental.
- Proteger la biodiversidad de la región que es una de las más ricas del mundo.
- Contribuir a cumplir la agenda ambiental global con un modelo integral para reducir la deforestación, proteger los bosques y las cuencas y enfrentar el cambio climático.
- Establecer un nuevo enfoque de protección del medio ambiente, integrando la conservación y la competitividad económica.

Estas iniciativas nacionales y regionales son importantes, pero se requiere generar escenarios que informen la ubicación estratégica de nuevas áreas protegidas y diseñar su interrelación para prever adaptaciones al cambio climático. Al mismo tiempo, la conservación de la biodiversidad y de los ecosistemas será un reto aun más complejo por el cambio climático. Es necesario adoptar el principio de precaución y establecer un estándar mínimo, considerando la irreversibilidad de la pérdida biológica, el riesgo y la incertidumbre. Existen sinergias potenciales con otras medidas como mejorar la eficiencia del uso del agua, desarrollar una agricultura más sostenible y aumentar el uso de energía eléctrica por la población pobre, pero todo esto requerirá coordinación de planes de desarrollo sostenibles entre diversos sectores.

Las medidas de adaptación de la biodiversidad podrán enfocarse en los siguientes puntos:

- Profundizar el análisis de la vulnerabilidad de los ecosistemas y las especies a los efectos del cambio climático y, en función de los hallazgos, priorizar la expansión y la conservación de áreas protegidas y corredores biológicos para abarcar mayor escala biogeográfica y proteger potenciales refugios climáticos.
- Crear programas para que las comunidades desarrollen la capacidad de conservación y recuperación de los ecosistemas con los que conviven, incluyendo la adopción de tecnologías apropiadas para medios de vida sostenibles, aprovechando al máximo los conocimientos tradicionales y la diversificación de sus fuentes de sustento. Por ejemplo, fomentar los aprovechamientos forestales que produzcan madera certificada y diversifiquen la producción en bienes no maderables: silvicultura sustentable, apicultura y miel, cosecha de follajes y hongos, cosecha de agua, manejo diversificado de flora y fauna a baja escala (alimentos, flores, plantas medicinales, tintes y adhesivos naturales, entre otros).
- Mejorar los sistemas de gestión de los bosques, incluyendo el control de la deforestación y los incendios forestales, la forestación y la reforestación.
- Proteger y conservar los arrecifes de coral, manglares, pastos marinos y litorales de vegetación y mejorar la gestión integrada de zonas costeras, incluyendo el turismo.
- Establecer y promover sistemas de regulación y certificación del ecoturismo como contribución a la defensa de los ecosistemas naturales, evitando su conversión en desarrollos turísticos convencionales e inmobiliarios que degraden sus atributos naturales e impulsar proyectos ecoturísticos o de naturaleza y “aventura”, manejados por los propietarios de los predios.
- Restaurar las áreas con ecosistemas degradados y de baja productividad de acuerdo con criterios de calidad de la producción primaria y de la reforestación para diferentes usos:

agroforestería, bosques de especies maderables de uso sostenible, no maderables, endémicas y de cobertura que faciliten la sucesión secundaria y acrecienten la biomasa para la captura de carbono.

- Evitar la extensión de la zona agrícola hacia los ecosistemas naturales, intensificando los sistemas de producción, mejorando su eficiencia y gestionando los paisajes agrícolas según objetivos de conservación.
- Identificar especies silvestres endémicas y variedades locales de producción agrícola y arbustal con mayor resistencia al cambio climático y desarrollar e intercambiar bancos de semillas entre productores.
- Priorizar la creación de nuevas áreas protegidas y corredores biológicos, tomando en cuenta los posibles cambios por uso de suelo y cambio climático.
- Expandir y fortalecer el sistema de áreas protegidas y corredores biológicos para abarcar mayor escala biogeográfica y proteger potenciales refugios climáticos.
- Ampliar la valorización económica de los ecosistemas y sus servicios en apoyo a las decisiones sobre su conservación y protección.
- Ampliar y precisar los esquemas financieros que incentiven el manejo sustentable y la conservación de los bosques y reconozcan el valor económico de sus servicios ambientales, incluyendo los hidrológicos y de sumidero de carbono. La región tiene experiencias como el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) de Costa Rica, el *Protected Areas Conservation Trust* de Belice, el Programa de Incentivos Forestales de Guatemala y el Programa de Certificados de Incentivos Forestales de Panamá.
- Ampliar y afinar esquemas de pago por servicios ambientales que benefician a los propietarios rurales y a las poblaciones locales, incluidos los pueblos indígenas que habitan en los ecosistemas.
- Analizar el potencial de sinergias entre esfuerzos de conservación y adaptación de los ecosistemas naturales con los mecanismos de fomento y compensación de medidas de reducción de emisiones por degradación y deforestación.
- Generar conciencia social sobre las funciones de los ecosistemas y su bienestar asociado, así como sobre las tendencias que los amenazan y ampliar su valorización económica en apoyo a las decisiones sobre su conservación y protección.
- Vincular las medidas de gestión para la adaptación al cambio climático con las de las convenciones “hermanas” sobre la Diversidad Biológica y la Lucha contra la Desertificación y la Degradación.
- Establecer inventarios y líneas base del potencial real de captura y almacenamiento de carbono comercializable mediante el MDL del Protocolo de Kioto y otros esquemas de financiamiento y cooperación multilateral y bilateral.
- Desarrollar los proyectos de la ERAS de Centroamérica 2009-2024 (SICA, CCAD y CAC, 2008) para el desarrollo de los “negocios verdes” o agronegocios no convencionales, al tiempo que las coberturas forestales son conservadas como sumideros de carbono.
- Impulsar canales de comercialización y financiamiento de productos orgánicos, verdes o sustentables mediante esquemas de acreditación, certificación y eco-etiquetado a escala regional y desarrollar marcas y mercados de productos a escala regional y extra-regional.
- Promover incentivos fiscales y de mercado para agentes productivos y financieros que apoyen estas políticas de conservación ecológica.

- Impulsar mercados sostenibles ligados a la conservación de la biodiversidad: observación de aves, rutas ecoturísticas y servicios de información biológica especializados, entre otros.
- Continuar impulsando los mecanismos globales que reconozcan y valoricen los esfuerzos de reducción de la deforestación y la degradación y promover proyectos pilotos con esquemas de pago por servicios ambientales y climáticos.
- Considerar la conveniencia de establecer planes voluntarios de reducción neta de la deforestación a escalas nacional y regional de aquí a los años 2020 y 2050, y de financiar estos esfuerzos vía el MDL, otros mercados de bonos de reducciones de emisiones o mediante pagos por servicios ambientales.
- Establecer metas de conservación ecológica y aprovechamiento sostenible de los ecosistemas terrestres a escalas nacional y regional y considerar la conveniencia de establecer metas territoriales en términos de carbono capturado y almacenado por ecosistemas.
- Vincular las metas de conservación ecológica con las de bienestar en sentido amplio, particularmente de las poblaciones que conviven con los ecosistemas, como el uso de estufas de leña eficientes.
- Integrar el análisis de los impactos del cambio climático en los ecosistemas en la gestión del recurso hídrico, la agricultura y la energía.

## SEGURIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE LA MATRIZ ENERGÉTICA Y MAYOR EFICIENCIA ENERGÉTICA

La región ha desarrollado una gran dependencia de fuentes energéticas importadas altamente contaminantes. Transitar a una matriz energética orientada a fuentes renovables locales tendría múltiples beneficios. Se podrá evaluar la oportunidad de reducir paulatinamente y a largo plazo la tendencia a la mayor dependencia de hidrocarburos y carbón mineral en un contexto de oscilaciones de precios e inseguridad de suministro. La contaminación de estas fuentes de energía implica costos de salud, los cuales son asumidos por los sistemas de salud pública y por la población afectada, no por los productores de hidrocarburos. Medidas para reducir esta dependencia mejorarían la seguridad energética, ahorrando divisas y reduciendo sus impactos negativos en la salud humana y en las emisiones de GEI.

Los sectores energéticos de Centroamérica han diseñado la Estrategia Energética Sustentable al año 2020 (CEPAL y SICA, 2007) con diversos escenarios futuros y una matriz de acciones progresivamente actualizada. Esta estrategia propone expandir las fuentes energéticas regionales renovables, incluyendo hidroeléctricas, eólicas y geotérmicas y gas natural importado. Es la primera estrategia regional sectorial que considera las emisiones de GEI. Fue aprobada por los ministros de energía y los presidentes centroamericanos y tiene las siguientes metas:

- Alcanzar al menos el 90% de cobertura eléctrica en cada país.
- Reducir en 10% el consumo de leña para cocción mediante cocinas más eficiente en un millón de hogares rurales.
- Reducir en 12% el uso de energía eléctrica en los sectores residencial, comercial, industrial y alumbrado público mediante sistemas de iluminación eficientes.
- Reducir en 35% el uso de energía eléctrica residencial mediante la sustitución de refrigeradores obsoletos por unidades más eficientes en 2,7 millones de hogares.

- Reducir en 10% el uso de energía eléctrica en el sector industrial con motores eficientes.
- Llevar al menos al 12% el nivel de pérdidas en los sistemas eléctricos de los países.
- Aumentar en 11% la participación regional de fuentes renovables de producción de electricidad, privilegiando la construcción de centrales hidroeléctricas.
- Sustituir el 15% del consumo de derivados del petróleo con biocombustible en el transporte público y privado.
- Reducir en 20% la emisión de GEI con respecto al escenario tendencial en el 2020, maximizando la aplicación de los CERs (CEPAL y SICA, 2007).

Con un mayor acceso a tecnología y financiamiento, la región podrá implementar esta Estrategia Energética Sustentable. El sector ha mostrado capacidad de gestión coordinada y a largo plazo al desarrollar la red de interconexión eléctrica (SIEPAC). Actualmente se trabaja en armonización de las normas de combustibles en el proceso de Unión Aduanera y en la ejecución de la Matriz de acciones para el desarrollo e integración del sector energético centroamericano, entre otras iniciativas.

Existen oportunidades de mejorar la eficiencia energética y reducir la intensidad de las emisiones asociadas: normas de eficiencia y de emisiones de los vehículos automotores, actividades industriales, usos domésticos y funcionamiento general de las ciudades, incluyendo el transporte público. La expansión de la generación hidroeléctrica podría dar a la población en pobreza mayor acceso a la electricidad, reducir el uso de leña y establecer modelos de desarrollo sostenible y social de las poblaciones aledañas a los proyectos, sobre lo cual varios países de la región están avanzando. Considerando este contexto, algunas opciones de adaptación al cambio climático y mejora en la seguridad y eficiencia energética podrían ser las siguientes:

- Avanzar en la transición de la matriz energética regional con las especificidades nacionales que convengan mediante el incremento de la oferta y uso de energías renovables y la regulación ambiental de la demanda de energía primaria y secundaria.
- Impulsar la transición con incentivos al consumo de energías renovables y tecnologías de mayor eficiencia energética mediante normas sanitarias, ambientales, técnicas de emisión, programas de calidad del aire, instrumentos de mercado (precios, sobreprecios, bonos de carbono, financiamientos) e instrumentos fiscales (derechos de uso, impuestos, otros).
- Reducir la demanda de derivados de petróleo (por sectores de consumo y generación de energía eléctrica) mediante: aumento de la eficiencia del uso de energía, sustitución de fuentes fósiles, reducción de la generación térmica de derivados de petróleo y del carbón mediante infraestructura para la importación de gas natural licuado (GNL), incorporación de nuevas tecnologías, políticas de precios promotoras del ahorro y sustitución de fuentes de energía fósiles por energías renovables.
- Reducir la dependencia de fuentes de energía importadas, aumentando la oferta de fuentes endógenas renovables, aumentar la eficiencia energética, incentivos fiscales y eliminación de barreras para usar fuentes endógenas, fomentar el consumo de energía eólica, solar, hidroeléctrica y biomasa.
- Mejorar la eficiencia y promover el uso racional de la energía (por el lado de la oferta y de la demanda) incluyen la divulgación de información y desarrollo de instituciones para fomentar el ahorro de energía, promoción del uso de estufas de leña ambientalmente adecuadas, armonización normativa e institucional a escala regional.

- Promover la construcción de rellenos sanitarios metropolitanos (en las ciudades capital y localidades conurbadas), plantas colectoras de metano para generar energía eléctrica a fin de aumentar la autosuficiencia energética en zonas metropolitanas.
- Impulsar proyectos de recuperación de metano en ciudades de menor tamaño mediante la construcción de rellenos sanitarios intermunicipales que garanticen flujos de residuos sólidos, volúmenes significativos de emisiones capturables y rendimientos financieros atractivos.
- Establecer programas para mejorar la calidad del aire en zonas metropolitanas e industriales con énfasis en: regulación del transporte público y privado, de las actividades industriales y de servicios, reordenamiento urbano, promoción del transporte público y conservación ecológica de entornos aledaños a las zonas metropolitanas.
- Incentivar las opciones energéticas más eficientes y menos contaminantes: energías renovables, mejores tecnologías, mezclas para equilibrar beneficios económico-ambientales netos, gas natural en lugar de combustóleo, etc.
- Inducir mayor y mejor acceso y uso eficiente de la energía por la población rural y urbana: proyectos mencionados anteriormente ligados al manejo energético de los desechos orgánicos rurales, a las plantas recuperadoras de metano en entornos rurales, a rellenos sanitarios urbanos, difusión del uso de estufas ambientalmente adecuadas, etc.
- Reordenar las vialidades urbanas, incluyendo proyectos de transporte público con vías confinadas, los flujos de transporte intermunicipal y carretero regional, tomando en cuenta los aprendizajes de las experiencias de Guatemala y Costa Rica.
- Establecer normas y tecnologías para reducir el consumo de energía por kilómetro recorrido y menores emisiones por litro de combustible consumido.
- Impulsar la renovación de inmuebles e infraestructura con estos mismos criterios, que se traducen en ahorros económicos importantes.
- Impulsar la infraestructura ambiental urbana y la ecoeficiente.
- Empaquetar proyectos de eficiencia energética urbana, de captura de metano en rellenos sanitario, en plantas de tratamiento de aguas residuales y en reorganizaciones viales e intermunicipales y someterlos a la consideración del MDL del Protocolo de Kioto.
- Expedir normas de eficiencia energética de construcción, mantenimiento y operación de edificios en alumbrado público, aire acondicionado, ventilación, refrigeración de productos comerciales y establecimientos de servicios, sistemas solares de calentamiento de agua, manejo de residuos sólidos, ascensores y áreas verdes, entre otros.
- Impulsar y evaluar el cumplimiento de las metas de la Estrategia Energética Sustentable de Centroamérica 2020 (CEPAL y SICA, 2007).
- Reducir el consumo energético e impulsar una mayor eficiencia en las industrias de cemento, ingenios azucareros, refinación de petróleo, bebidas alcohólicas, vidrio, papeleras y de celulosa, entre otras.
- Inducir la sustitución del uso de combustibles fósiles para el de energías renovables como la solar, eólica, geotérmica, hidroeléctrica, minihidráulica en los mismos sectores.
- Establecer metas específicas de reducción de consumo energético, de emisiones de GEI y de eficiencia en los procesos mediante criterios de ecoeficiencia en sentido amplio, específicamente ligados a los usos industriales de la energía a escalas nacional y regional de aquí a 2020 y a 2050.



- Establecer normas para calderas, motores y cogeneración (10% a 30% de ahorro en ciclos combinados).
- Difundir sistemas de suministro de vapor y sistemas de motores.
- Divulgar y promover las experiencias de empresas de la región que ya están tomando medidas en estos campos.

## MEDIDAS PREVISORAS Y PROACTIVAS DE POLÍTICA FISCAL

Es urgente adoptar una política fiscal que incluya el ambiente, en especial el cambio climático, como tema transversal. Este fenómeno puede afectar fuertemente las finanzas públicas por diversas vías, como el aumento de las emergencias por eventos extremos y la inestabilidad de la producción agrícola y de electricidad por fuentes hídricas. También puede aumentar las demandas de ampliación y ajuste de los servicios sociales y la relocalización de poblaciones y actividades económicas. Las poblaciones afectadas demandarían compensación por pérdidas, lo que probablemente recaerá sobre el Estado. Esta lista no exhaustiva de las presiones del cambio climático sobre las finanzas públicas sugiere que el impacto económico debe ser visto como un serio pasivo contingente, que a largo plazo se tornará mucho menos “contingente”. El valor presente del costo de no adoptar estrategias y acciones para reducir la vulnerabilidad y la adaptación sería considerable.

Dado que el cambio climático es una falla de mercado no puede ser tratado exclusivamente como problema de las instituciones ambientales, sino como problema económico transversal. Como los mercados no pueden solucionarlo, requiere una acción colectiva encabezada por el Estado, es decir, por el conjunto de instituciones públicas y espacios de toma de decisión y acción de la sociedad. Es necesario adoptar medidas previsoras para reducir los efectos negativos de tal forma que la incidencia futura sea mínima, y crear mecanismos financieros y programas de estímulo fiscal para amortiguar el impacto en general y alinear los incentivos fiscales para transitar hacia una economía menos dañina al ambiente.

A pesar de los retos inmediatos de la crisis actual, los ministerios de finanzas y hacienda de los gobiernos de Centroamérica han empezado a prestar atención al cambio climático. La región tiene experiencia en acciones de canje de deuda por financiamiento de programas de cambio climático, etiquetado de líneas presupuestarias para identificar inversión en adaptación, propuestas para fondos nacionales de cambio climático y mercados internos de bonos de carbono, requerimientos de cambio climático en planes sectoriales como parte del ejercicio presupuestal, fondos de contingencia para desastres, inversión en adaptación de la infraestructura y pago por servicios ambientales. Considerando este contexto, algunas opciones de adaptación al cambio climático en el campo fiscal podrían ser las siguientes:

- Analizar el impacto potencial del cambio climático sobre los ingresos fiscales por sus efectos directos en los sectores productivos y sus efectos potenciales en la economía global.
- Analizar el impacto potencial sobre el gasto en salud y en los programas de transferencias a poblaciones en pobreza, los impactos directos en la población y establecer prioridades de adaptación, como la extensión agrícola, inversión en infraestructura adaptada al cambio climático y eventos extremos de mayor intensidad, sistemas de registro de datos climáticos y seguros productivos.
- Expandir los mecanismos y las capacidades para aprovechar diversas fuentes de financiamiento para la adaptación y la reducción de emisiones y valorizar los servicios de los ecosistemas.

- Coordinar los esfuerzos nacionales de hacer el mejor uso posible de los presupuestos nacionales y los planes de inversión para avanzar en la adaptación al cambio climático, incluyendo ajustes a los criterios y requisitos de inversión y de adquisiciones públicas.
- Ampliar y precisar los esquemas financieros que incentiven el manejo sustentable y la conservación de los bosques y reconozcan el valor económico de sus servicios ambientales, incluyendo los hidrológicos y de sumidero de carbono. La región tiene experiencias como el FONAFIFO de Costa Rica, el *Protected Areas Conservation Trust* de Belice, el Programa de Incentivos Forestales de Guatemala y el Programa de Certificados de Incentivos Forestales de Panamá.
- Incluir en las políticas fiscales incentivos dinámicos, combinando regulación con señales de precios y, en algunos casos, escalonados en el tiempo a favor de agentes económicos, procesos productivos y sectores cuya actividad reduzca externalidades socioambientales, desarrolle mayor eficiencia de uso de agua, electricidad, hidrocarburos y reduzca emisiones de GEI.
- Evaluar las opciones de seguros sectoriales, nacionales y regionales contra riesgos climáticos extremos.
- Ampliar los esfuerzos nacionales y regionales intersectoriales para establecer mecanismos con fuentes nacionales y externas para financiar planes, programas de adaptación y de desarrollo sostenible, así como de gestión de riesgo y fortalecimiento de capacidades.
- Contribuir a la construcción y gobernanza de mecanismos internacionales de financiamiento que reconozcan la situación de países en vías de desarrollo altamente vulnerables al cambio climático y respondan a sus necesidades y oportunidades.

## OPORTUNIDADES DE INTEGRACIÓN CENTROAMERICANA

En el contexto de cambio climático, puede ser ventajosa para Centroamérica aprovechar y fortalecer su sistema de integración. Sin ignorar las diversas condiciones nacionales y los retos de profundizar este proceso, se han identificado varios campos en los cuales podría ser particularmente ventajoso trabajar como región, como la gestión integrada del recurso hídrico y la seguridad alimentaria, además de intensificar la experiencia en los sectores ambiental y energético.

En el campo del cambio climático, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá firmaron el primero Convenio regional sobre cambios climáticos en 1993. Su implementación fue encargada a la CCAD en coordinación con el CRRH y los servicios meteorológicos nacionales. Los países de la región firmaron y ratificaron la CMNUCC entre 1994 y 1995 y el Protocolo de Kioto entre 1998 y 2002. La respuesta regional, coordinada por los ministros de ambiente y el CCAD, recibió un importante impulso en 2008 por la Declaración de San Pedro Sula de los Presidentes del Sistema de Integración Centroamericana, que estableció mandatos, incluyendo la preparación de la ERCC (CCAD y SICA, 2010).

Después de un proceso de elaboración y consulta, la estrategia fue lanzada a finales de 2010 en la COP16 en Cancún, junto con la Síntesis 2010 del proyecto “La economía de cambio climático en Centroamérica” (CEPAL, UKAID, CCAD y SICA, 2010). La ERCC contiene propuestas para adaptación, mitigación, fortalecimiento de capacidades y educación, comunicación y participación ciudadana. En cuanto a la adaptación cuenta con nueve áreas estratégicas: agricultura y seguridad alimentaria; ecosistemas forestales y biodiversidad; recursos hídricos; salud pública; recursos costero-marinos; turismo; pueblos, etnias y comunidades afrodescendientes e infraestructura

pública. En el campo de mitigación asume líneas de acción en fuentes renovables y reducción de emisiones en energía, agricultura, transporte y desechos sólidos, captura de carbono en bosques y producción y consumo más limpios (CCAD y SICA, 2010).

Seguramente existen oportunidades de cooperación en el análisis de opciones de políticas nacionales y su implementación, además de los actuales esfuerzos para identificar una agenda común para las negociaciones internacionales sobre cambio climático (Más información sobre la institucionalidad en cambio climático en CCAD, 2005b y CEPAL y DFID, 2009).

En el campo de recursos hídricos, el SICA ha reconocido la oportunidad y el reto del manejo integrado del recurso desde finales de la década de los noventa. Dado que el 40% del territorio de la región está ocupado por cuencas transfronterizas, su gestión coordinada es prioritaria. El subsistema ambiental de SICA (CCAD, CEPREDENAC y CRRH) completa la ECAGIRH con una perspectiva de diez años y un plan de tres años. Un próximo paso sería la preparación de una matriz de proyectos financiables para realizar la estrategia en coordinación con el sector energético y evaluar opciones para utilizar los mecanismos de reducción de emisiones de GEI. Establecer un sistema así parece ambicioso y requerirá mucha voluntad política y esfuerzo técnico y financiero durante varias décadas. La región ya demostró capacidad al establecer un sistema integrado de suministro de energía eléctrica, el SIEPAC.

En el campo agrícola, la Política Agrícola Centroamericana 2008–2017 del CAC incluye un apartado de Gestión Ambiental con una Estrategia Regional Agroambiental que promueva procesos productivos para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental, social y económica, contribuyendo a la reducción de la pobreza, e incorporar el manejo de los recursos naturales para consolidar el CBM (CAC, 2007). En 2010 el CAC aprobó la Estrategia Centroamericana de Desarrollo Rural Territorial, confirmando la necesidad de tomar acciones de adaptación y mitigación en el sector agropecuario (CAC, 2010). Desde inicios de la década del año 2000, el CAC ha propuesto acciones para enfrentar los efectos del cambio climático, en particular las sequías. La Estrategia para el manejo de la sequía incluye el objetivo de reducir la vulnerabilidad y el impacto del fenómeno, mejorando el conocimiento de sus causas y de las posibilidades de influir en ellas y adaptar la agricultura al calentamiento global y al avance de la desertificación (Jiménez, 2002).

En el sector agropecuario hay sinergias y oportunidades que justifican una respuesta regional coordinada. Éstas incluyen el fortalecimiento de la capacidad de alimentar a la población con un enfoque regional que considere las diferentes posibilidades de producción y las opciones de fortalecer el comercio intrarregional de alimentos. En este sentido se identificó la necesidad de formular políticas aduaneras que faciliten el flujo regional de alimentos. Otra opción es crear reservas estratégicas nacionales y regionales de alimentos básicos.

Una interesante iniciativa intersectorial es la Estrategia Regional Agroambiental de Salud (ERAS), aprobada por los Ministros de Ambiente, Salud y Agricultura y por los presidentes de los países en 2008. La estrategia se basa en una visión intersectorial y en cinco ejes: manejo sostenible de tierras, variabilidad y cambio climático, biodiversidad, negocios agroambientales y espacios y estilos de vida saludables, todo ello en un marco intersectorial que propicia respuestas coordinadas al cambio climático (SICA, CCAD y CAC, 2008).

En el campo de la reducción de emisiones de GEI, el establecimiento de programas sectoriales podría reducir costos de transacción si los programas son regionales. Los esfuerzos para ajustar la inserción de la región en una economía global baja en carbono podría crear la oportunidad de

promover una estrategia o marca regional para caminar hacia el objetivo de cero emisiones netas o de desarrollo sostenible y equitativo. Esto aceleraría la transición a servicios bajos en carbono, incluyendo un mayor encadenamiento entre los recursos naturales (bosques, agricultura, zonas costeras) con los servicios de turismo, agroindustria y exportaciones a mercados nicho. Surgirán también oportunidades en las negociaciones comerciales internacionales y entre la región y sus mercados principales, las cuales probablemente tendrán que acordar términos sobre emisiones y contenidos carbónicos y sus potenciales impactos en competitividad.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABI (Association of British Insurers) (2005a), «Financial risks of climate change: Summary Report», [en línea] <[http://www.abi.org.uk/Display/File/Child/552/Financial\\_Risks\\_of\\_Climate\\_Change.pdfS](http://www.abi.org.uk/Display/File/Child/552/Financial_Risks_of_Climate_Change.pdfS)>.
- \_\_\_\_ (2005b), «Financial risks of climate change: Technical annexes», *Association of British Insurers, London*, [en línea] <[http://www.abi.org.uk/Display/File/Child/552/Technical\\_Annexes\\_climatetechnical.pdfS](http://www.abi.org.uk/Display/File/Child/552/Technical_Annexes_climatetechnical.pdfS)>.
- Acosta, I. (2004), *Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina. Informe Nacional Honduras*, Documento de Trabajo [en línea] <<http://www.fao.org/docrep/007/j4456s/j4456s00.htm#TopOfPage>>, Depósito de Documentos de la FAO.
- Adams, R., B. Hurd y J. Reilly (1999), «A review of impacts to US agricultural resources», Documento preparado para: The Pew Center on Global Climate Change.
- \_\_\_\_ (1990), «Global Climate Change and US Agriculture», *Nature*, vol. 345.
- Adams, R. y otros (1988), «Implications of global climate change for western agriculture», *Western Journal of Agricultural Economics*, vol. 13, N° 2.
- \_\_\_\_ (1998), «Effects of global climate change on agriculture: An interpretative review», *Climate Research*, vol. II.
- ADERASA (Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas) (2008), *Ejercicio anual de evaluación comparativa de desempeño – 2007 (datos año 2006) base de datos e indicadores de desempeño para agua potable y alcantarillado*, Grupo regional de trabajadores de Benchmarking (GRTB).
- AfDB (African Development Bank) y otros (2007), «Poverty and climate change: Reducing the vulnerability of the poor through adaptation», Banco Mundial.
- Agosin, M. y R. Machado (2003), «Crecimiento económico en América Central», *Documento de trabajo*, LACEA.
- Agosin, M., R. Machado y P. Nazal (2002), *Las economías de los países centroamericanos y República Dominicana: evolución y desafíos de largo plazo*, Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento Regional de Operaciones II.
- Aguilar, E. y otros (2005), «Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003», *Journal of Geophysical Research*, vol. 110, N° D23.
- Albala-Bertrand, J. (1993), *The political economy of large natural disasters: with special reference to developing countries*, Oxford University Press, Nueva York.
- Alfaro, E. (2007a), *Predicción climática de la temperatura superficial del aire en Centroamérica*, Ambientico.
- \_\_\_\_ (2007b), «Uso del análisis de correlación canónica para la predicción de la precipitación pluvial en Centroamérica», *Revista Ingeniería y Competitividad*, vol. 9, N° 2.
- \_\_\_\_ (2002a), «Response of air surface temperatures over Central America to oceanic climate variability indices», *Investigaciones marinas*, vol. 30.
- \_\_\_\_ (2002b), «Some characteristics of the annual precipitation cycle in Central America and their relationships with its surrounding tropical oceans», *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 9, N° 2.
- Alfaro, E. y J. Amador (1997), «Variabilidad y cambio climático en algunos parámetros sobre Costa Rica y su relación con fenómenos de escala sinóptica y planetaria», *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 4, N° 1.
- \_\_\_\_ (1996), «El Niño-Oscilación del Sur y algunas series de temperatura máxima y brillo solar en Costa Rica», *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 3, N° 1.
- Alfaro, E. y L. Cid (1999a), «Ajuste de un modelo VARMA para los campos de anomalías de precipitación en Centroamérica y los índices de los océanos Pacífico y Atlántico Tropical», *Atmósfera*, vol. 12.
- \_\_\_\_ (1999b), «Análisis de las anomalías en el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y su relación con los océanos Pacífico y Atlántico Tropical», *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 6, N° 1.
- Alfaro, E., L. Cid y D. Enfield (1998), «Relaciones entre el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical», *Investigaciones Marinas, Valparaíso*, vol. 26.
- Alfaro, E. y C. Rica (2007), «Escenarios climáticos para temporadas con alto y bajo número de huracanes en el Atlántico», *Revista de Climatología*, vol. 7.

- Alfaro, W. y L. Rivera (2008), «Cambio climático en Mesoamérica: temas para la creación de capacidades y la reducción de la vulnerabilidad», Guatemala, febrero.
- Alfaro-Martínez, E. y F. Soley (2001), «Ajuste de un modelo VAR como predictor de los campos de anomalías de precipitación en Centroamérica», *Revista de Matemática*, vol. 8, N° 1.
- Almon, C. (2008), *The Craft of Economic Modeling*, Ginn Press.
- Alpizar, E. (2008), *Carbono fijado en bosques tropicales de Costa Rica: propuesta hipotética*, San José, Costa Rica, Centro Científico Tropical.
- Alpizar, F., F. Carlsson y M. Naranjo (2007), «Small farmer's determinants of private adaptation to climate change strategies», *Environment for Development Initiative*.
- Alvarado, L. y E. Alfaro (2003), «Frecuencia de los ciclones tropicales que afectaron a Costa Rica durante el siglo XX», *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 10, N° 1.
- Alvarado, L. y otros (2005), *Escenarios de cambio climático para Centroamérica*, CRRH-UCR-CIGEFI-AIACC-LA06, San José, Costa Rica.
- Alvarado, L. y W. Fernández (2001), «Variabilidad interanual y estacional de la atmósfera libre sobre Costa Rica durante eventos de El Niño», *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 8, N° 2.
- Amador, J. y E. Alfaro (2009), «Métodos de reducción de escala: aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático», *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, vol. 11.
- \_\_\_\_ (1996), «La Oscilación Cuasi-bienal, ENOS y acoplamiento de algunos parámetros superficiales y estratosféricos sobre Costa Rica», *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 3, N° 1.
- Amador, J. y otros (2006), «Atmospheric forcing of the eastern tropical Pacific: A review», *Progress in Oceanography*, vol. 69, N° 2-4.
- Ammour, T. (1999), *Manejo productivo de manglares en América Central*, CATIE, Costa Rica.
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá) (2009), *Segundo Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero-Línea Base 2000 (Preliminar)*, Panamá.
- \_\_\_\_ (2008), *Estrategia Nacional del Ambiente 2008-2012*, Capítulo III, Ciudad de Panamá.
- \_\_\_\_ (2000), «Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Panamá», Panamá, Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM).
- Anchiaes, M. y A. Peterson (2006), «Climate change effects on Neotropical manakin diversity based on ecological niche modeling», *The Condor*, vol. 108, N° 4.
- ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados) (2006), *Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados*, El Salvador.
- Andersen, T. (2003), «Globalization and natural disasters: An integrative risk management perspective», Banco Mundial.
- Anderson, E. y otros (2008), «Potential impacts of climate change on biodiversity in Central America, Mexico and Dominican Republic», *CATHALAC/USAID, Panama City*, vol. 105.
- Anderson, M. y P. Woodrow (1989), *Rising from the ashes: Development strategies in times of disaster*, Westview Press Boulder.
- Anemüller, S., S. Monreal y C. Bals (2006), «Global climate risk index 2006. Weather-related loss events and their impacts on countries in 2004 and in a long-term comparison», *German Watch* [en línea] <<http://www.germanwatch.org/klak/cr106.pdf>>.
- Audesirk, T., G. Audesirk y B. Byers (2003), *Biología: la vida en la Tierra*, Pearson Educación.
- Backlund, P. (2009), *Effects of Climate Change on Agriculture, Land Resources, Water Resources, and Biodiversity in the United States*, DIANE Publishing.
- Baker, B. y otros (1993), «The potential effects of climate change on ecosystem processes and cattle production on US rangelands», *Climatic Change*, vol. 25, N° 2.
- Balick, M. y R. Mendelsohn (1992), «Assessing the economic value of traditional medicines from tropical rain forests», *Conservation Biology*, vol. 6, N° 1.
- Baltagi, B. (2005), *Econometric analysis of panel data*, John Wiley & Sons Ltd.
- Baltodano, M. (2005), «Valoración económica de la oferta del servicio ambiental hídrico en las subcuencas de los ríos Jucuapa y Calico, Nicaragua», CATIE, Costa Rica.
- Banco Central de Belice (2009), «Reportes anuales del 2004 al 2008».
- Banco Central de Guatemala (2009a), «Boletín de estadísticas agrícolas y pecuarias, 2008».
- \_\_\_\_ (2009b), «Boletín estadístico, diciembre 2008».
- Banco Central de Honduras (2009a), «Boletín estadístico mensual, diciembre 2008».
- \_\_\_\_ (2009b), «Honduras en cifras, 2002-2008».
- \_\_\_\_ (2009c), «Informe de Comercio Exterior, 2008».



- Banco Central de Nicaragua (2009), «Indicadores económicos mensuales, junio».
- Banco Central de Reserva de El Salvador (2009), «Revista trimestral, octubre-diciembre, 2008».
- Banco Mundial (2010), *Convenient solutions to an inconvenient truth*, Banco Mundial.
- \_\_\_\_ (2001), *World development report 2000/2001: Attacking poverty*, Oxford University Press, Nueva York.
- \_\_\_\_ (2009), «World Development Indicators Database», Banco Mundial [en línea] <<http://data.worldbank.org/indicator>>.
- Banco Mundial/CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo) (2001), «Los ecosistemas de América Central (ArcView), Archivos de Mapas Regionales en 1:250,000», Banco Mundial, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), World Institute for Conservation and Environment (WICE), y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Washington, D. C. [en línea] <<http://www.worldbank.org/ca-env>>.
- \_\_\_\_ (2000), «Ecosystems of Central America (GIS map files at 1:250,000)», Banco Mundial, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), World Institute for Conservation and Environment (WICE) y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CIAT), Washington D. C. [en línea] <<http://www.worldbank.org/ca-env>>.
- Barbosa, R. y P. Fearnside (1996), «Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and the storage and release of aboveground carbon», *Journal of Geophysical Research*, vol. 101.
- Bárcena, A. (2009), «Institucionalidad y financiamiento para los bienes públicos globales: el caso del cambio climático», Santiago de Chile, inédito, «Conferencia magistral», Seminario Sesenta años de la CEPAL: Contribuciones al pensamiento del desarrollo de América Latina y el Caribe y México, México, DF.
- Baritto, F. (2009), *Disasters, vulnerability and resilience from a macro-economic perspective*, Background paper for the 2009 ISDR Global assessment report on disaster risk reduction.
- Barnett, T. (1977), «An attempt to verify some theories of El Niño», *Journal of Physical Oceanography*, vol. 7, N° 5.
- Barnett, T. y otros (2005), «Penetration of human-induced warming into the world's oceans», *Science*, vol. 309, N° 5732.
- Barrantes, A. y G. Salazar (2008), «Precios de referencia de la madera en Costa Rica», *Oficina Nacional Forestal*.
- Barthel, C. y otros (2006), *Options and potentials for energy end-use efficiency and energy services*, Wuppertal, Wuppertal Institute for Climate.
- \_\_\_\_ (2008), «An integrated modelling framework for simulating regional-scale actor responses to global change in the water domain», *Environmental Modelling & Software*, vol. 23, N° 9.
- Barzev, R. (2004), «Guía metodológica de valoración económica de los servicios hídricos a nivel de cuenca».
- \_\_\_\_ (2002), «Valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales de la Reserva del Hombre y la Biosfera de Río Plátano», *Proyecto Manejo Reserva del Hombre y la Biosfera de Río Plátano, Corredor Biológico Mesoamericano (CBM)*.
- \_\_\_\_ (2000), *Valoración económica de las mejoras propuestas para los servicios turísticos del Parque Nacional Volcán Masaya*, MARENA, DGAP, DSA, PANIF.
- Bates, B. y otros (2008), «Climate change and water», Documento Técnico, *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Ginebra.
- Bauer, L. (1995), «Resistance: A threat to the insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*», *Florida Entomologist*, vol. 78, N° 3.
- Benavides, H. y A. Rodríguez (2004), «La madera en Costa Rica. Situación actual y perspectivas».
- Bender, M. y otros (2010), «Modeled impact of anthropogenic warming on the frequency of intense Atlantic hurricanes», *Science*, vol. 327, N° 5964.
- Benegas, L. y otros (2007), «Evaluación de la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía en cuencas hidrográficas en América Central: Parte 2. Estudio de caso en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua», CATIE, Costa Rica.
- Bengtsson, L. y otros (2007), «How may tropical cyclones change in a warmer climate? », *Tellus A*, vol. 59, N° 4.
- Bertranou, F. y O. Durán (2005), «Social protection in Latin America: The challenges of heterogeneity and inequity», *International Social Security Review*, vol. 58, N° 2-3.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo) (2009), «Sociómetro» [en línea] <<http://www.iadb.org/sociometro/>>.
- Bishop, J., S. Kapila y F. Hicks (2008), *Building biodiversity business*, Shell International Limited.
- Bitrán, E. y GIT (Grupo Interagencial de Trabajo) (2010), *Plan de inversiones y financiamiento para Centroamérica, Panamá y la República Dominicana*, Documento de trabajo para del Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y la República Dominicana (COSEFIN).
- Blaser, J. y M. Camacho (1991), *Estructura, composición y aspectos silviculturales de un bosque de roble (Quercus spp.) del Piso Montano en Costa Rica*, CATIE, Costa Rica.
- Bolaños, G. y L. Lumbi (2004), *Primer Congreso Latinoamericano de Áreas Naturales Protegidas*.
- Bonilla, A. (2009), «Manifestaciones intensivas y extensivas del riesgo en Costa Rica», *Documento insumo para el GAR*.

- Box, G. y otros (1976), *Time series analysis: Forecasting and control*, Holden-day San Francisco, CA.
- BP (British Petroleum) (2009), *Statistical review of world energy* [en línea] <<http://www.bp.com/statisticalreview>>.
- Brenes, C. y otros (2002), *El fenómeno ENOS. Descripción e impactos sobre el Istmo Centroamericano*, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, Proyecto VULSAC de la Secretaría del Consejo Agropecuario Centroamericano, San José, Costa Rica.
- Britton, E., P. Fisher y J. Whitley (1998), «The inflation report projections: Understanding the fan chart», *Bank of England Quarterly Bulletin*, vol. 8.
- Brock, W. y A. Xepapadeas (2003), «Valuing biodiversity from an economic perspective: A unified economic, ecological, and genetic approach», *The American Economic Review*, vol. 93, N° 5.
- Bruinsma, J. (2003), «World agriculture: Towards 2015/2030—An FAO perspective earthscan», *Food and Agriculture Organization (FAO)*, Londres/Roma.
- Buddemeier, R. y otros (2004), *The adaptive hypothesis of bleaching*, Springer, Berlín.
- Burkett, V. y otros (2005), «Nonlinear dynamics in ecosystem response to climatic change: Case studies and policy implications», *Ecological Complexity*, vol. 2, N° 4.
- Bush, M., M. Silman y D. Urrego (2004), «48000 years of climate and forest change in a biodiversity hot spot», *Science*, vol. 303.
- Cabrera, M. (2009), *Iniciativa de ley marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero*, Guatemala.
- Cabrera, M., O. Ovidio y J. Fuentes (2005), *Hechos estilizados en el crecimiento económico de El Salvador 1978-2004: Una propuesta de acciones de política económica en el corto y mediano plazo*, Banco Central de Reserva de El Salvador.
- CAC (Consejo Agropecuario Centroamericano) (2010), *Estrategia Centroamericana de Desarrollo rural Territorial - ECADERT - Crear oportunidades y desarrollar capacidades para la inclusión*, San José, Costa Rica.
- \_\_\_\_\_ (2007), *Política agrícola centroamericana 2008-2017. Una agricultura competitiva e integrada para un mundo global*, San José, Costa Rica.
- \_\_\_\_\_ (2002), *Estrategia para el manejo de la sequía en el sector agropecuario de Centroamérica*, San José, Costa Rica.
- Campos, C., I. Baudin y J. Lain (2001), «Adsorption performance of powdered activated carbon-ultrafiltration systems», *Water Supply*, vol. 1, N° 5-6.
- Campos, M. (s/f), «Cambio climático en Centroamérica», *Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH)* [en línea] <<http://www.aguayclima.com/pdf/CambioClimaticoenCentroamerica.pdf>>.
- Cancino, J. (2004), *Revisión de la corta anual permisible*, Serie Técnica, N° 1, Petén, Cooperativa Unión Maya Itzá, Guatemala.
- Cantero, M. (2007), «Cambio climático empeora salud en el mundo», *La Nación*, San José, Costa Rica.
- Cantero, M. y P. Fonseca (2007), «Cambio climático golpeará salud de los costarricenses», *La Nación*, San José, Costa Rica.
- Carnot, N., V. Koen y B. Tissot (2005), *Economic forecasting*, Reino Unido, Palgrave Macmillan.
- Castillo, M. (2009), «Comunicación personal. M Sc Marvin Castillo, Profesor Investigador, Escuela de Ingeniería Forestal y Centro de Integración Bosque-Industria», Costa Rica.
- Catalán, H. (2009a), *Aspectos metodológicos: impactos económicos (documento técnico)*, inédito.
- \_\_\_\_\_ (2009b), *Escenarios de crecimiento económico (reporte preliminar)*, Informe de consultor. Proyecto «La economía del cambio climático en Centroamérica».
- CATHALAC (Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe)/PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) y GEF (Global Environmental Facility) (2008), *Síntesis regional: fomento de las capacidades para la etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba*, Ciudad de Panamá.
- CATHALAC/USAID (United States Agency for International Development) (2008), *Impactos potenciales del cambio climático en la biodiversidad de Centroamérica, México y República Dominicana*, Panamá.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) (2009), «Base de datos del Programa Cambio Climático», Turrialba, Costa Rica.
- CBM (Corredor Biológico Mesoamericano) (2010), «Corredor Biológico Mesoamericano» [en línea] <<http://www.fao.org/DOCREP/ARTICLE/WFC/XII/MS15-S.HTM>>.
- CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo) (2008), *Lineamientos para la Estrategia Regional de Cambio Climático*.
- \_\_\_\_\_ (2005a), «Estudios sobre incendios forestales en Centroamérica».
- \_\_\_\_\_ (2005b), *Plan ambiental de la región Centroamericana (PARCA)*, Managua, Nicaragua.
- \_\_\_\_\_ (2003a), *Estado del Sistema Centroamericano de Áreas Protegidas (SICAP). Informe de síntesis regional*, Managua, Nicaragua.
- \_\_\_\_\_ (2003b), *Estrategia Regional para la Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Mesoamérica*.
- \_\_\_\_\_ (2002a), *Biodiversidad en Mesoamérica: informe regional sobre el cumplimiento del convenio sobre diversidad biológica*, CDB.

- \_\_\_\_\_. (2002b), *Corredor Biológico Mesoamericano. Una plataforma para el desarrollo sostenible regional*, Corredor Biológico Mesoamericano, Serie técnica 01 Proyecto para la consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano, Managua, Nicaragua.
- CCAD/Banco Mundial (2010), «Base de Datos SIG de Mesoamérica» [en línea] <<http://www.ccad.ws/documentos/mapas.html>>.
- \_\_\_\_\_. (2009), «Red vial. Base de Datos SIG de Mesoamérica/CCAD-BM 2002» [en línea] <<http://www.ccad.ws/mapas/mapoteca.htm>>.
- CCAD/CAC (Consejo Agropecuario Centroamericano) y COMISCA (Consejo de Ministros de Salud de Centroamérica) (2008), «Estrategia Regional Agroambiental y de Salud de Centroamérica 2009-2024», ERAS.
- CCAD/SICA (Sistema de Integración Centroamericana) (2010), *Estrategia Regional de Cambio Climático*.
- \_\_\_\_\_. (2009), «Posición común sobre cambio climático de los países miembros del Sistema de Integración Centroamericana (SICA)».
- \_\_\_\_\_. (2008), *Lineamientos de la Estrategia Regional de Cambio Climático*, San Salvador, El Salvador.
- CCSR (Center for Climate System Research) y otros (2004), «K-1 Technical Report N° 1», *Human-Nature-Earth Symbiosis Project*.
- CDM (Clean Development Mechanism) y UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2010), «CDM: CDM-Home» [en línea] <<http://cdm.unfccc.int/>>.
- CEAC (Consejo de Electrificación de América Central) (2009), *Plan indicativo regional de expansión de la generación, período 2009-2020*, Grupo de trabajo de planificación indicativa regional (GTPIR).
- Cellini, R. y A. Scorcu (2000), «Segmented stochastic convergence across the G-7 countries», *Empirical Economics*, vol. 25, N° 3.
- Centella, A., A. Bezanilla y K. Leslie (2008), «A study of the uncertainty in future Caribbean Climate using the PRECIS regional climate model», *Caribbean Community Climate Change Center*.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2011a), «Estudio sectorial regional sobre energía y cambio climático en Centroamérica», por publicar.
- \_\_\_\_\_. (2011b), «CEPALSTAT: Estadísticas de América Latina y El Caribe» [en línea] <<http://websie.eclac.cl/sisgen/ConsultaIntegrada.asp>> accedido Febrero de 2011.
- \_\_\_\_\_. (2010a), «CEPALSTAT: Estadísticas de América Latina y El Caribe» [en línea] <<http://websie.eclac.cl/sisgen/ConsultaIntegrada.asp>>.
- \_\_\_\_\_. (2010b), «Climate change and challenges for tourism in Central America», *Estudios y perspectivas*, N° 123, México, D. F.
- \_\_\_\_\_. (2010c), «Climate change and the macroeconomy in the Caribbean basin: Analysis and projections to 2099» (LC/CAR/L.264), *Puerto España, Trinidad y Tobago*.
- \_\_\_\_\_. (2010d), «Economics of climate change in Latin America and the Caribbean. Summary 2010» (LC/G.2474), Santiago de Chile.
- \_\_\_\_\_. (2010e), «El desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe: Tendencias, avances y desafíos en materia de consumo y producción sostenibles, minería, transporte, productos químicos y gestión de residuos» (LC/R.2161), Santiago de Chile.
- \_\_\_\_\_. (2010f), «El Salvador: impacto socioeconómico, ambiental y de riesgo por la baja presión asociada a la tormenta tropical Ida en noviembre de 2009» (LC/MEX/L.957), México, D. F.
- \_\_\_\_\_. (2010g), «La hora de la igualdad, Brechas por cerrar, caminos por abrir», *Síntesis, Trigésimo tercer período de sesiones de la CEPAL Brasilia*, Santiago de Chile.
- \_\_\_\_\_. (2010h), «Regional climate modeling in The Caribbean», (LC/CAR/L.265), Puerto España, Trinidad y Tabago.
- \_\_\_\_\_. (2010i), «Regional Report on the Impact of Climate Change on Tourism Sector» (LC/CAR/L.263), Puerto España, Trinidad y Tabago.
- \_\_\_\_\_. (2010j), «Report of the roundtable: Towards development of a climate change policy for the Caribbean. Port-of-Sapin, Trinidad and Tobago, 30 June 2010» (LC/CAR/L.268), Puerto España, Trinidad y Tabago.
- \_\_\_\_\_. (2010k), «Review of the economics of climate change in The Caribbean phase II - The water sector», (LC/CAR/L.260), Puerto España, Trinidad y Tobago.
- \_\_\_\_\_. (2009a), «Anexo estadístico, de las notas económicas», países de Centroamérica.
- \_\_\_\_\_. (2009b), *Balance preliminar de las economías de América Latina y el Caribe, 2008*, Santiago de Chile.
- \_\_\_\_\_. (2009c), «Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe. Una reseña», *Documentos de proyectos*.
- \_\_\_\_\_. (2009d), «Economics of climate change in Latin America and the Caribbean. Summary 2009», (LC/G.2425), Santiago de Chile.
- \_\_\_\_\_. (2009e), «Enfrentando la crisis. Istmo Centroamericano y República Dominicana: evolución económica en 2008 y perspectivas para 2009» (LC/MEX/L.904), México, D.F.

- \_\_\_\_ (2009f), «Indicadores sociales básicos de la subregión norte de América Latina y El Caribe», (LC/MEX/L.947), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2009g), «Istmo Centroamericano: Estadísticas de Hidrocarburos, 2008» (LC/MEX/L.934), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2009h), «Istmo Centroamericano: Estadísticas del Subsector Eléctrico (Datos actualizados a 2008)», (LC/MEX/L.935), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2009i), «Istmo Centroamericano: las fuentes renovables de energía y el cumplimiento de la Estrategia 2020» (LC/MEX/L.953), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2009j), «Macro indicators of international tourism project», *CEPAL y Organización Mundial de Turismo (UNWTO)*.
- \_\_\_\_ (2009k), «Preliminary overview of the Caribbean, 2008-2009» (LC/CAR/L.189), Puerto España, Trinidad y Tabago.
- \_\_\_\_ (2009l), *Anuario Estadístico de América Latina y El Caribe, 2008* (LC/G.2399-P), Santiago de Chile.
- \_\_\_\_ (2008a), «La energía y las metas del milenio en Guatemala, Honduras y Nicaragua» (LC/MEX/L.843/Rev.1), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2008b), «Economic Survey of the Caribbean, 2007-2008» (LC/CAR/L.173), Puerto España, Trinidad y Tabago.
- \_\_\_\_ (2008c), «Impacto del huracán Félix en la Región Autónoma del Atlántico Norte y de las lluvias torrenciales en el noroeste de Nicaragua» (LC/MEX/L.860), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2008d), *Panorama social de América Latina 2008* (LC/G.2402-P), Santiago de Chile.
- \_\_\_\_ (2008e), «Tendencias demográficas y protección social en América Latina y el Caribe», *Población y Desarrollo*, vol. 82.
- \_\_\_\_ (2007a), «Apertura comercial y cambio tecnológico en el Istmo Centroamericano», *Estudios y perspectivas*, N° 81, México, D. F.
- \_\_\_\_ (2007b), «Estrategia energética sustentable centroamericana 2020» (LC/MEX/L.828), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2007c), «Istmo Centroamericano: Estadísticas del sector manufacturero y de la industria de exportación» (LC/MEX/L.892), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2007d), «Perspectivas para el biodiesel en Centroamérica: Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Honduras» (LC/MEX/L.791), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2006a), «América Latina y el Caribe: proyecciones 2006-2007», *Documento de trabajo*.
- \_\_\_\_ (2006b), «Costos y precios para etanol combustible en América Central» (LC/MEX/L.716), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2006c), «Efectos de los daños ocasionados por el huracán César sobre el desarrollo de Costa Rica en 1996» (LC/MEX/L.312), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2006d), *Panorama social de América Latina 2006* (LC/G.2326-P), Santiago de Chile.
- \_\_\_\_ (2005a), «Documento conceptual y metodológico sobre protección social», *Proyecto «Implicaciones de la política macroeconómica, los choques externos, y los sistemas de protección social en la pobreza, la desigualdad y la vulnerabilidad en América Latina y el Caribe»*.
- \_\_\_\_ (2005b), «Efectos en El Salvador de las lluvias torrenciales, tormenta tropical Stan y erupción del volcán Iamatepec (Santa Ana)» (LC/MEX/R.892), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2005c), «Efectos en Guatemala de las lluvias torrenciales y la tormenta tropical Stan», (LC/MEX/R.895), México, D. F., octubre de 2005.
- \_\_\_\_ (2004a), «El Salvador: evaluación de los daños ocasionados por el huracán Mitch, 1998. Sus implicaciones para el desarrollo económico y social y el medio ambiente» (LC/MEX/L.371), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2004b), «Guatemala: evaluación de los daños ocasionados por el huracán Mitch, 1998. Sus implicaciones para el desarrollo económico y social y el medio ambiente» (LC/MEX/L.370), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2004c), «Retos y oportunidades del crecimiento agropecuario en el Istmo Centroamericano».
- \_\_\_\_ (2003), «Handbook for estimating the socio-economic and environmental effects of disasters», (LC/MEX/G.5), México, D. F.
- \_\_\_\_ (2002), «Vulnerabilidad sociodemográfica: Viejos y nuevos riesgos para comunidades, hogares y personas» (LC/R.2086), Santiago de Chile.
- \_\_\_\_ (2000), *Panorama social de América Latina 1999-2000* (LC/G.2068-P), Santiago de Chile.
- \_\_\_\_ (1999a), «América Latina y El Caribe: el impacto de los desastres naturales en el desarrollo, 1972-1999», (LC/MEX/L.402), México, D.F.
- \_\_\_\_ (1999b), «Costa Rica: evaluación de los daños ocasionados por el huracán Mitch, 1998. Sus implicaciones para el desarrollo económico y social y el medio ambiente» (LC/MEX/L.373), México, D. F.
- \_\_\_\_ (1999c), «Nicaragua: evaluación de los daños ocasionados por el huracán Mitch, 1998. Sus implicaciones para el desarrollo económico y social y el medio ambiente» (LC/MEX/L.372), México, D. F.
- \_\_\_\_ (1998), «El fenómeno de El Niño en Costa Rica durante 1997-1998: evaluación de su impacto y necesidades de rehabilitación, mitigación y prevención ante las alteraciones climáticas» (LC/MEX/R.663), México, D. F.



- \_\_\_\_\_. (1996), «Efectos económicos y sociales del huracán César sobre el desarrollo de Nicaragua en 1996» (LC/MEX/R.570), México, D. F.
- \_\_\_\_\_. (1988), «Daños ocasionados por el huracán Joan en Nicaragua: sus efectos sobre el desarrollo económico y las condiciones de vida, y requerimientos para la rehabilitación y reconstrucción» (LC/MEX/L.94), México, D. F.
- \_\_\_\_\_. (1982a), «El Salvador: los desastres naturales de 1982 y sus repercusiones sobre el desarrollo económico y social» (E/CEPAL/MEX/1982/L.30), México, D. F.
- \_\_\_\_\_. (1982b), «Guatemala: repercusiones de los fenómenos meteorológicos ocurridos en 1982 sobre la situación económica del país» (E/CEPAL/MEX/1982/L.31), México, D. F.
- \_\_\_\_\_. (1982c), «Nicaragua: Las inundaciones de mayo de 1982 y sus repercusiones sobre el desarrollo económico y social del país» (E/CEPAL/MEX/1982/R.2/Rev.1), México, D. F.
- \_\_\_\_\_. (1974), «Informe sobre los daños y repercusiones del huracán Fifi en la economía hondureña» (E/CEPAL/AC.67/2/Rev.1), México, D. F.
- CEPAL/BID (Banco Interamericano de Desarrollo) (2000), «La reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres», Nueva Orleans.
- \_\_\_\_\_. (2010), «Cambio climático, una perspectiva regional», Riviera Maya, México.
- CEPAL/CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo) (2002), *Impacto socioeconómico y ambiental de la sequía de 2001 en Centroamérica*.
- CEPAL/CELADE (Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía), División de Población CEPAL (2009), *Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía* [en línea] <<http://www.eclac.org/celade/>>.
- \_\_\_\_\_. (2007), «Proyección de población», América Latina y El Caribe, *Observatorio Demográfico*, vol. 3.
- CEPAL/DFID (UK Department for International Development) (2009), «La economía del cambio climático en Centroamérica. Informe de factibilidad» (LC/MEX/L.897), México, D.F.
- CEPAL/GTZ (Sociedad Alemana de Cooperación Técnica)/Gobierno de Dinamarca (2009), «Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe. Una reseña 2009» (LC/W.232), Santiago de Chile.
- CEPAL/SICA (Sistema de Integración Centroamericano) (2007), «Estrategia Energética Sustentable Centroamericana 2020» (LC/MEX/L.828), México, D.F.
- CEPAL/UKAID (UK Department for International Development)/CCAD/SICA (Sistema de Integración Centroamericana), «La economía del cambio climático en Centroamérica. Síntesis 2010» (LC/MEX/L.978), México, D. F.
- CEPREDENAC (Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central) (2006), *Plan regional de reducción de desastres 200 -2015*, Guatemala.
- CGR (Contraloría General de la República) (2009a), «Boletín de granos básicos y boletín de información pecuaria, 2008», Panamá.
- \_\_\_\_\_. (2009b), «Encuesta de empleo, 2008».
- \_\_\_\_\_. (2009c), «Sistema de Consulta de Estadísticas de Comercio Exterior».
- Chase, A., P. Randhawa y R. Lawson (1988), «New disease of *Syngonium podophyllum* 'White Butterfly' caused by a pathovar of *Xanthomonas campestris*», *Plant disease*, Estados Unidos.
- Chen, X., L. Hutley y D. Eamus (2003), «Carbon balance of a tropical savanna of northern Australia», *Oecologia*, vol. 137, N° 3.
- Cid Ramírez, K. (2001), «Identificación de servicios turísticos y análisis de las preferencias de turistas para impulsar el ecoturismo en el entorno del Parque Nacional Montaña de Celaque» Honduras, *CATIE*.
- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network), Columbia University/CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) (2005), «Gridded Population of the World version 3 (GPWv3): Population density grids», Palisades, NY, Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University [en línea] <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>>.
- CIESIN y otros (2004), «Global Rural-Urban Mapping Project (GRUMP), alpha version. Settlement points», Palisades, NY, Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University [en línea] <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>>.
- Cifuentes-Jara, M. (2008), «Aboveground biomass and ecosystem carbon pools in tropical secondary forests growing in six life zones of Costa Rica», Tesis de doctorado, Oregon State University.
- Cigarán, Gutiérrez y Gallo (2009), *Evaluación climática del Marco de Asistencia de las Naciones Unidas para el Desarrollo, El Salvador: resumen ejecutivo*, Proyecto Integración de riesgos y oportunidades del cambio climático en los procesos nacionales de desarrollo y en la programación de SNU, El Salvador, PNUD.
- Clark, D. (2004), «Tropical forests and global warming: Slowing it down or speeding it up? », *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 2, N° 2.

- Cline, W. (2007), *Global warming and agriculture: Impact estimates by country*, Washington, D. C., Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics.
- \_\_\_\_ (1993), «Costs and benefits of greenhouse abatement: A guide to policy analysis», OECD, París, Francia.
- \_\_\_\_ (1992), *The economics of global warming*, Peterson Institute.
- CNC (Consejo Nacional de Concesiones) (2010), *Sistema ferroviario y sus puntas logísticas* [en línea] <<http://www.cnc.go.cr/>>, San José, Costa Rica.
- Coase, R. (1960), «The problem of social cost», *Journal of Law and Economics*, vol. 3.
- Cole, H. y otros (2005), «Latin America in the rearview mirror», *Journal of Monetary Economics*, vol. 52, N° 1.
- Conde, C. (2009), «Generación de escenarios de cambio climático», Informe de consultor, Proyecto «La economía del cambio climático en Centroamérica».
- Conde, C. y otros (2006), «Climatic threat spaces as a tool to assess current and future climate risks: Case studies in Mexico and Argentina», AIACC Working Paper.
- Córdova, L. (s/f), «Estado actual de la información sobre recursos forestales y cambio en el uso de la tierra», *Informe de Consultor* [en línea] <<http://www.fao.org/DOCREP/006/AD3955/AD3955s10.htm>>, Depósito de documentos de la FAO.
- Corella, O. (2009), «Valoración de la base forestal de las plantaciones forestales y su contribución al abastecimiento de madera en la zona del Atlántico Norte de Costa Rica», CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Corral, J. y otros (2005), «Potencial productivo agrícola de la región centro de Jalisco», INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias).
- CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) (2009), «Emergency events database EM-DAT: the international disaster database», Bruselas [en línea] <<http://www.emdat.be>> [consulted: 21 February, 2011].
- Crompton, R. y K. McAneney (2008), «Normalised Australian insured losses from meteorological hazards: 1967-2006», *Environmental Science & Policy*, vol. 11, N° 5.
- Daily, G. y otros (2000), «The value of nature and the nature of value», *Science*, vol. 289, N° 5478.
- Davis, C. (2008), «Protecting forests to save the climate: REDD challenges and opportunities», *EarthTrends*, vol. 28 [en línea] <<http://earthtrends.wri.org/updates/node/303>>.
- De Gregorio, J. (2008), «El crecimiento económico de la América Latina. Del desencanto del siglo XX a los desafíos del XXI», *El trimestre económico*, vol. 75, N° 297.
- \_\_\_\_ (1992), «Economic growth in Latin America», *Journal of Development Economics*, vol. 39, N° 1.
- De la Torre, A., F. Fajnzylber y J. Nash (2009), *Desarrollo con menos carbono: Respuestas latinoamericanas al desafío del cambio climático-síntesis*, publicaciones del Banco Mundial.
- Deliso, E. (2007), «Climate change and the Hummingbirds of the Monteverde Cloud Forest, Costa Rica», *Centro Científico Tropical*, vol. 42, San José, Costa Rica.
- DeMaría, M. y J. Kaplan (1994), «Sea surface temperature and the maximum intensity of Atlantic tropical cyclones», *Journal of Climate*, vol. 7, N° 9.
- DesInventar (2008), «Sistema de inventario de efectos de desastres», *DesInventar Online* [en línea] <<http://online.desinventar.org/>>.
- Desvousges, W. y otros (1993), *Measuring natural resource damages with contingent valuation: Tests of validity and reliability*, Amsterdam, Norte de los Países Bajos.
- DFID (UK Department for International Development)/Banco Mundial (2003), «Estudios de caso sobre la producción forestal no controlada en Honduras. Resúmenes Ejecutivos. La producción forestal no controlada en Honduras y Nicaragua: los impactos sobre gobernabilidad y pobreza».
- Diamond, J. (2005), «Collapse: How societies choose to succeed or fail», Londres: Allen Lane.
- Díaz-Ambruna, C., R. Pazos y C. Tovar (2004), «Global climate change and food security for small farmers in Honduras», 4th International Crop Science Congress, Australia.
- Díaz, R. y P. Meller (2004), «Crecimiento económico regional en Chile: ¿Convergencia?», Documentos de Trabajo. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Industrial.
- DIGESTYC (Dirección General de Estadística y Censos) (2008), «Encuesta de hogares de propósitos múltiples, 2007», El Salvador.
- DIIS (Danish Institute for International Studies) (2009), *Low carbon development and poverty alleviation, options for development cooperation in energy, agriculture and forestry*, Copenhagen, Dinamarca.
- DKRZ (Deutsches Klimarechenzentrum) (2010), «World Data Center for Climate, Hamburg. Climate and Environmental Retrieval and Archive (CERA)» [en línea] <<http://cera-www.dkrz.de/>>.
- DOE (Department of Energy of United States) (2009), «Sistema oficial de estadísticas energéticas de Estados Unidos» [en línea] <<http://www.eia.doe.gov/>>.



- Donnelly, M. y M. Crump (1998), «Potential effects of climate change on two neotropical amphibian assemblages», *Climatic Change*, vol. 39, N° 2.
- Dore, M. y D. Etkin (2000), «The importance of measuring the social costs of natural disasters at a time of climate change», *Australian Journal of Emergency Management*, vol. 15, N° 3.
- Dow, C. y D. DeWalle (2000), «Trends in evaporation and Bowen ratio on urbanizing watersheds in eastern United States», *Water Resources Research*, vol. 36, N° 7.
- Downing, T. y otros (2003), «Climate change and demand for water: Final report», Oxford, Stockholm Environment Institute (SEI).
- Ducker, A., V. Gómez y S. Anderson (2001), «The economic valuation of farm animal genetic resources: A survey of available methods», *Ecological Economics*, vol. 36, N° 1.
- Durán, R. (1999), «Mittelamerika nach dem Hurrikan Mitch-Risikomanagement und Katastrophenvorbeugung», *Entwicklung und Ländlicher Raum*, vol. 33, N° 4.
- Dursbeck, F. (2001), *Estudio sobre la utilización de GLP y GNC en el Transporte en los Países del Istmo Centroamericano*, Proyecto uso sustentable de hidrocarburos CEPAL/República Federal de Alemania.
- Easterling, W. E. y otros (2007), «Food, fibre and forest products. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability» ML y otros (eds.), Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry, págs. 273–313.
- Echeverría, B. (2004), «Selección de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero para desarrollar escenarios de cambio climático en Centroamérica», CRRH-UCRCIGEFI-AIACCLA06, San José, Costa Rica.
- EFE (Agencia de noticias) (2010), «La deforestación y el cambio climático preocupan a la Comisión Forestal de A. Latina», Guatemala, 27 de mayo de 2010.
- EIRD (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres) (2009), *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*.
- Ekström, M. y otros (2005), «New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 2. Future estimates and use in impact studies», *Journal of Hydrology*, vol. 300, N° 1-4.
- Elías, V. (1992), *Sources of growth: Study of seven Latin American economies*, ICS Press Institute for Contemporary Studies.
- Emanuel, K. (2007), «Environmental factors affecting tropical cyclone power dissipation», *Journal of Climate*, vol. 20, N° 22.
- \_\_\_\_\_ (2005), «Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years», *Nature*, vol. 436, N° 7051.
- \_\_\_\_\_ (1987), «The dependence of hurricane intensity on climate», *Nature*, vol. 326, N° 6112.
- EM-DAT (2009), «The International Disaster Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disaster-CRED», *The International Disaster Database* [en línea] <<http://www.emdat.be/database>>.
- Enfield, D. y E. Alfaro (1999), «The dependence of Caribbean rainfall on the interaction of the tropical Atlantic and Pacific Oceans», *Journal of Climate*, vol. 12.
- Engle, R. y C. Granger (1987), «Cointegration and error correction: Representation, estimation and testing», *Econometrica*, vol. 55.
- Enkvist, P., J. Dinkel y C. Lin (2010), «Impact of the financial crisis on carbon economics: Version 2.1 of the global greenhouse gas abatement cost curve», McKinsey & Company.
- Enkvist, P., T. Naucér y J. M. Oppenheim (2008), «Business strategies for climate change», *McKinsey Quarterly*, vol. 2.
- Enkvist, P., T. Naucér y J. Rosander (2007), «A cost curve for greenhouse gas reduction», *McKinsey Quarterly*, vol. 1.
- Enquist, C. (2002), «Predicted regional impacts of climate change on the geographical distribution and diversity of tropical forests in Costa Rica», *Journal of Biogeography*, vol. 29, N° 4.
- Epstein, P. (1999), «Climate and health», *Science*, vol. 285, N° 5426.
- Estrada, F. (2009), «Elaboración de escenarios de cambio climático: selección y justificación de escenarios de emisiones. Informe final», Informe de Consultor. Proyecto «La economía del cambio climático en Centroamérica».
- Fankhauser, S. (1995), *Valuing climate change: The economics of the greenhouse*, Londres, Reino Unido, Earthscan/James & James.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2010), *AQUASTAT. FAO's Information System on Water and Agriculture* [en línea] <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexesp.stm>> [accedido: 20 de octubre de 2010].
- \_\_\_\_\_ (2009), «FAOSTAT» [en línea] <<http://faostat.fao.org/site/377/default.aspx#ancor>>.
- \_\_\_\_\_ (2005), *Evaluación de los recursos forestales mundiales. Hacia la ordenación forestal sostenible*, Roma, Italia, ONU.
- \_\_\_\_\_ (2004), «Guatemala. Evaluación de los recursos forestales. Inventario Forestal Nacional 2002-2003», *Documento de trabajo*, vol. 92.
- \_\_\_\_\_ (2003), *The Digital Soil Map of the World (DSMW) CD-ROM*, Roma, Italia.
- Feeley, K. y otros (2007), «Decelerating growth in tropical forest trees», *Ecology letters*, vol. 10, N° 6.

- Fernández, W., J. Amador y M. Campos (2006), *Impacts and adaptation to climate change and extreme events in Central America, Final report*, San José, Costa Rica: University of Costa Rica Geophysical Research Center.
- Fernández, W. y J. Barrantes (1996), «The Central American temporal: A long-lived tropical rain-producing system», *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 3, N° 2.
- Fernández, W., R. Chacon y J. Melgarejo (1996), «On the rainfall distribution with altitude over Costa Rica», *Revista geofísica*, N° 44.
- (1986), «Modifications of air-flow due to the formation of a reservoir», *Journal of Climate and Applied Meteorology*, vol. 25, N° 7.
- Fernández, W. y P. Ramírez (1991), «El Niño, la Oscilación del Sur y sus efectos en Costa Rica: Una revisión», *Tecnología en Marcha (Costa Rica)*, vol. 11, N° 1.
- Fernández, W. y N. Vega (1996), «A comparative study of hurricanes Fifi (1974) and Greta (1978) and their associated rainfall distributions over Central America», *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 3, N° 2.
- Fetzek, S. (2009), «Climate-related impacts on National security in Mexico and Central America», *Interim Report*, Royal United Services Institute, Londres.
- Figueroa, B. y otros (2004), «Contenido de carbono en los productos y residuos forestales generados por el aprovechamiento y el aserrío en la reserva de Biosfera Maya», *Recursos Naturales y Ambiente*, vol. 2004.
- Figueroa, F. (2010), *Metodología para la prospectiva energética en Centroamérica*, Proyecto Cuentas para el Desarrollo (Development Account 06/07).
- (2009), «Diagnóstico energético del sector transporte y proyección del consumo de combustibles y biocombustibles y emisiones GEI en Centroamérica al año 2020», Proyecto CEPAL/República de Italia.
- Finger, R. y S. Schmid (2007), «Modeling agricultural production risk and the adaptation to climate change», *Munich Personal RePEc Archive*, vol. 3943, N° 07.
- Fleischer, A., I. Lichtman y R. Mendelsohn (2007), «Climate change, irrigation, and Israeli agriculture: Will warming be harmful?», *Policy Research Working Paper*, N° 4135, Banco Mundial.
- Flower, D., V. Mitchell y G. Codner (2007), «The potential of water demand management strategies to reduce the greenhouse gas emissions associated with urban water systems», 1st Conference on Sustainable Urban Water Management & 9th Conference on Computing and Control in the Water Industry. Leicester, Reino Unido.
- FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal) (2008), *Estrategia REDD para Costa Rica: conservación, manejo y recuperación de los bosques para la consolidación de más de 10 años de mitigación de impactos ambientales, sociales y económicos ante el cambio climático*, Costa Rica [en línea] <[http://www.fonafifo.com/text\\_files/noticias/Estrategia%20REDD.pdf](http://www.fonafifo.com/text_files/noticias/Estrategia%20REDD.pdf)>.
- Forster, R. y otros (2002), *Comunidades forestales y mercadeo de maderas tropicales poco utilizadas de Mesoamérica*, México, D. F.
- Fournier, L. y J. di Stefano (2004), «Variaciones climáticas entre 1988 y 2001 y sus posibles efectos sobre la fenología de varias especies leñosas y el manejo de un cafetal con sombra en ciudad Colón de Mora, Costa Rica», *Agronomía Costarricense*, vol. 28, N° 001.
- Freeman, A. (2003), *The measurement of environmental and resource values: Theory and methods*, RFF press.
- Freeman, P., M. Keen y M. Mani (2003), «Dealing with increased risk of natural disasters: Challenges and options», *IMF Working Paper*, No 03/197, Fondo Monetario Internacional, Washington, D. C.
- Friedmann, J. (1992), *Empowerment: the politics of alternative development*, Blackwell.
- Funes, M. (2008), «Programa de Gobierno 2009-2014 “Cambio en El Salvador para vivir mejor”».
- FUNPADEM (Fundación para la Paz y la Democracia)/UCR (Universidad de Costa Rica) (2000), *Proyecto de Cooperación Transfronteriza en Centroamérica*, Universidad de Costa Rica.
- Fürst, E. y otros (2004), «Desarrollo y conservación en interacción: Cómo y en cuánto se benefician la economía y la comunidad de las áreas silvestres protegidas en Costa Rica», Proyecto Inter-Institucional INBio-CINPE.
- Galindo, L. M. y J. Samaniego (2010), «La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: algunos hechos estilizados», *Revista de la CEPAL*, vol. 100.
- Galindo, L. M. (2009), «La economía del cambio climático en México», Gobierno Federal, SHCP, SEMARNAT.
- García, L. y W. Fernández (1996), «Distribución de la lluvia con la altitud en la región occidental de El Salvador», *Revista geofísica*, N° 45.
- (1996), «Distribución estacional e interanual de la lluvia en El Salvador», *Revista geofísica*, N° 45.
- García, V., J. Zevallos y A. del Villar (2003), *Desastres agrícolas en México: Catálogo histórico*, Fondo De Cultura Económica, Estados Unidos.
- Garratt, A. y otros (2003), «Forecast uncertainties in macro-econometric modelling: An application to the UK economy», *Journal of the American Statistical Association*, vol. 98.

- Gasner, M. y otros (2010), «Projecting the local impacts of climate change on a Central American montane avian community», *Biological Conservation*, vol. 143, N° 5.
- Gay, C. y otros (2004), «Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el 2050 en Veracruz, México», *Climatic Change*, vol. 79.
- Girod (2008), «Mainstreaming adaptation in national protected areas systems in Central America by scaling up biological corridors and forest landscape restoration», «*Climate Change and biodiversity in the Americas*», Canadian International Development Agency y Smithsonian Institution.
- Glantz, M. (1998), «El Niño forecasts: Hype or Hope?», *Network Newsletter*, vol. 13, N° 1.
- \_\_\_\_\_(1996), «Currents of change: El Niño's impact on climate and society», Cambridge University Press, pág. 194.
- Gobierno de Honduras (2010), *Visión de país 2010-2038 y Plan de Nación 2010-2022*, Tegucigalpa.
- Gobierno de Belice (2010), *Horizon 2030*, Belice.
- Gobierno de Costa Rica (2005), *Iniciativa Paz con la Naturaleza*, San José, Costa Rica.
- Goldenberg, S. y otros (2001), «The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and implications», *Science*, vol. 293, N° 5529.
- Gómez, I. y W. Fernández (1996), «Variación interanual de la temperatura en Costa Rica», *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 3, N° 1.
- Google Inc. (2009), «Google Earth (Version 5.1.3533.1731) [Software] » [en línea] <<http://too.lazy.to.look.it.up/>>.
- Gray, W. (1993), «Atlantic conveyor belt alterations as a possible cause of multi-decadal global surface temperature change», documento presentado en Preprints, Fourth Conference on Global Change Studies, Anaheim, CA.
- Grigg, A. y R. Burret (2010), «Uncontrolled risks, untapped opportunities», *Banking for Biodiversity*.
- Groot, R. (1992), *Functions of nature: Evaluation of nature in environmental planning, management and decision making*, Wolters-Noordhoff BV, Groningen, Países Bajos.
- Guerrero, C. (2009), «Istmo Centroamericano y República Dominicana: análisis del desempeño de las productividades individuales y total de los factores», *Documento de Trabajo, CEPAL*.
- Guevara, J. y C. Rodríguez (2002), «Localización de actitudes proambientales», *Revista de Psicología de la Universidad de Chile*, vol. 11.
- Gutiérrez, J. (2002), «Valoración económica del servicio ambiental hídrico en las subcuencas Molino Norte y San Francisco, y propuesta para su incorporación en la tarifa hídrica, Matagalpa, Nicaragua», *CATIE*.
- Hallegatte, S. (2009), «Strategies to adapt to an uncertain climate change», *Global Environmental Change*, vol. 19, N° 2.
- Hamon, W. (1963), «Computation of direct runoff amounts from storm rainfall», *International Association of Scientific Hydrology Publication*, vol. 63.
- Hannah, L. y otros (2002), «Conservation of biodiversity in a changing climate», *Conservation Biology*, vol. 16, N° 1.
- Hannah, L., G. Midgley y D. Millar (2002), «Climate change - integrated conservation strategies», *Global Ecology and Biogeography*, vol. 11, N° 6.
- Hansen, J. (2005), «A slippery slope: How much global warming constitutes "dangerous anthropogenic interference"?», *Climatic Change*, vol. 68, N° 3.
- Hansen, J. y S. Lebedeff (1988), «Global surface air temperatures: Update through 1987», *Geophysical Research Letters*, vol. 15, N° 4.
- Hansen, J. y otros (2005), «Earth's energy imbalance: Confirmation and implications», *Science*, vol. 308, N° 5727.
- Harmeling, S. (2011), «Global Climate Risk Index 2011», *Germanwatch* [en línea] <<http://www.germanwatch.org/start/english.htm>>.
- \_\_\_\_\_(2007), «Global Climate Risk Index 2008», *Germanwatch* [en línea] <<http://www.germanwatch.org/start/english.htm>>.
- Harvey, C. (2005), «The nature conservancy. «Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America: Historical overview and future perspectives», Mesoamerican & Caribbean Region, Conservation Science Program, San José, Costa Rica.
- Hastenrath, S. (1976), «Variations in low-latitude circulation and extreme climatic events in the tropical Americas», *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 33.
- Heaps, C. (2010), «Long-range Energy Alternatives Planning System (LEAP), User Guide for LEAP version 2008», *SEI (Stockholm Environment Institute), United States of America*.
- Heaps, C. y N. Di Sbroiavacca (2009), *Long-range Energy Alternatives Planning System (LEAP), Ejercicios de Práctica*, SEI (Stockholm Environment Institute).
- Hearne, R. y Z. Salinas (2002), «The use of choice experiments in the analysis of tourist preferences for ecotourism development in Costa Rica», *Journal of Environmental Management*, vol. 65, N° 2.

- Hegerl, G. y otros (2007), *Understanding and attributing climate change*. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis (Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)* [S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, KB Averyt, M. Tignor and HL Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York.
- Henderson-Sellers, A., R. Dickinson y M. Wilson (1988), «Tropical deforestation: Important processes for climate models», *Climatic Change*, vol. 13, N° 1.
- Henderson-Sellers, A. y otros (1998), «Tropical cyclones and global climate change: A post-IPCC assessment», *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79, N° 1.
- Hernández, A. y M. Ríos (2006), «América Central y la Convención de Naciones Unidas sobre derechos de los cursos de aguas internacionales para fines distintos para la navegación», CEMEDE/CRRH, Heredia, Costa Rica.
- Hernández, V. (2001), «La preservación del medio humano: el caso del agujero en la capa de ozono», *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*.
- Hernández, W. (2003), «Pago de servicios ambientales para la implementación de sistemas agroforestales en áreas críticas de las cuencas generadoras de energía eléctrica María Linda y Los Esclavos», CATIE.
- Higuera, A. y otros (1998), «Efecto de la frecuencia y altura de corte sobre el rendimiento y calidad del forraje de diferentes variedades de quinchoncho *Cajanus cajan* (L.) Millsp», *Rev. Fac. Agron (LUZ)*, vol. 15.
- Hijmans, R. y otros (2010), «WorldClim - Global Climate Data» [en línea] <<http://www.worldclim.org/>>.
- \_\_\_\_\_ (2005), «Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas», *International Journal of Climatology*, vol. 25, N° 15.
- Hochrainer, S. (2009), *Assessing the macroeconomic impacts of natural disasters: Are there any?*, Banco Mundial.
- Hodell, D. A. y otros (2008), «An 85-ka record of climate change in lowland Central America», *Quaternary Science Reviews*, vol. 27, N° 11-12.
- Hodrick, R. y E. Prescott (1997), «Postwar US business cycles: An empirical investigation», *Journal of Money, Credit & Banking*, vol. 29, N° 1.
- Holland, G. (1997), «The maximum potential intensity of tropical cyclones», *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 54, N° 21.
- Hughes, B. (2008), «International Futures: The IFs Model», Documento presentado en la reunión anual en ISA's 49th Annual Convention, Bridging Multiple Divides, Hilton San Francisco, San Francisco, CA.
- Hughes, D. y P. Hannart (2003), «A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa», *Journal of Hydrology*, vol. 270, N° 3-4.
- Hughes, L. (2000), «Biological consequences of global warming: Is the signal already apparent? », *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 15, N° 2.
- Hulme, M. y N. Sheard (1999), «Escenarios de cambio climático para Mesoamérica», *Unidad de Investigación Climática, Universidad de Norwich, Reino Unido* [en línea] <<http://www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/research/mesoamer.span.pdf>>.
- Hulme, M. y otros (2000), «Using a climate scenario generator for vulnerability and adaptation assessments», *MAGICC and SCENGEN Version*, vol. 2.
- Ibarraran, M., E. Malone y A. Brenkert (2010), «Climate change vulnerability and resilience: Current status and trends for Mexico», *Environment, Development and Sustainability*, vol. 12, N° 3.
- Ibarrarán, M. y otros (2009), «Climate change and natural disasters: Macroeconomic performance and distributional impacts», *Environment, Development and Sustainability*, vol. 11, N° 3.
- Imbach, P., O. Coto y Z. Salinas (2005), «Valoración de los residuos biomásicos en Costa Rica usando Sistemas de Información Geográfica», CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica)/MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica) (2000), «Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Costa Rica», Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional. Ministerio de Ambiente y Energía.
- IMN/Ministerio de Salud de Costa Rica (2008), *Efectos del clima, su variabilidad y cambio climático sobre la salud humana en Costa Rica*, San José, Costa Rica, MIANET/MS/IMN/PNUD.
- INBIO (Instituto Nacional de Biodiversidad) (2004), *Biodiversidad en Centroamérica*.
- INE (Instituto Nacional de Estadística de Honduras) (2009), «Instituto Nacional de Estadística» [en línea] <<http://www.ine.gob.hn/drupal/>>.
- \_\_\_\_\_ (2008), «Encuesta agropecuaria básica», Honduras.
- \_\_\_\_\_ (2007), «Encuesta permanente de hogares», Honduras.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica) (2008), «Encuesta de hogares de propósitos múltiples.», Costa Rica.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos de Nicaragua) (2009), «Encuesta de empleo», Nicaragua.



- \_\_\_\_\_. (2006), «VIII Censo de Población y IV de Vivienda 2005», Nicaragua.
- Inman, R. (1998), *Do balanced budget rules work?, US experience and possible lessons for the EMU*, National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass., USA.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2007a), *Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático*, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. (2007b), *Cambio Climático 2007: resumen técnico*, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. (2007c), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. (2007d), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. (2007e), «General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment—version 2», Intergovernmental Panel on Climate Change-Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment (TGICA).
- \_\_\_\_\_. (2007f), *IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. (2004), «Glosario de términos utilizados en el Tercer Informe de Evaluación del IPCC» [en línea] <<http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>>.
- \_\_\_\_\_. (2001a), *Cambio Climático 2001: informe de síntesis*, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. (2001b), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. (2001c), *Climate change 2001: Mitigation*, Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. (2001d), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. (2000a), *Cambio Climático 2000: Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*, Informe especial del Grupo de Trabajo III, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. (2000b), *Climate Change 2000: IPCC Special report on emissions scenarios. A special report of IPCC Working Group III*, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA (US), Environmental Molecular Sciences Laboratory (US).
- IPCC/PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (2007), *Cambio Climático 2007: informe de síntesis*, Cambridge University Press.
- IPCC/OMM (Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas)/PNUMA (2007), *Evaluación de la vulnerabilidad e impactos del cambio climático y del potencial de adaptación en América Latina*, Lima, Perú, Naciones Unidas.
- ISRD (International Strategy for Disaster Reduction, United Nations), La Red (Red de estudios sociales en Prevención de desastres en América Latina) y Corporación OSSO (Sistema Nacional de Detección y Alerta de Tsunami de Colombia) (2002), «Comparative Analysis of Disaster Databases».
- ITTO (The International Tropical Timber Organization) (2008), *Annual review and assessment of the world timber situation*.
- Jaramillo, C. y R. Christian (2009), «Do natural disasters have long-term effects on growth? », *Documentos CEDE*.
- Jarvis, A. y otros (2009), «Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT) » [en línea] <<http://srtm.csi.cgiar.org>>.
- Jiménez, A. y L. Alexander (2007), «Latin America assessment environmental conflict and cooperation: The Mesoamerican Biological Corridor as a mechanism for transborder cooperation», Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, vol. 54.
- Jiménez, B. (2010), *Reporte de la actividad 9: Análisis del sector de recursos hídricos*, Informe de consultor. Proyecto «La economía del cambio climático en Centroamérica».
- Jiménez, B. y T. Asano (2008), *Water reuse: An international survey of current practice, issues and needs*, Londres, Reino Unido, IWA Publishing.
- Jiménez, M. (2009), «Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático.», Tesis del programa de educación para el desarrollo y la conservación, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- \_\_\_\_\_. (2002), «Estrategia para el manejo de la sequía en el sector agropecuario de Centroamérica», Secretaría del Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC), San José, Costa Rica.
- Jobse, J. (2008), «Impacts of forest-to-agriculture conversion on aboveground and soil carbon and nitrogen stocks along a bioclimatic gradient in Costa Rica», Tesis de doctorado, Universidad del Estado de Óregon, Estados Unidos.

- Johansen, S. (1995), *Likelihood-based inference in cointegrated vector autoregressive models*, Oxford University Press, Estados Unidos.
- (1988), «Statistical analysis of cointegration vectors», *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 12, N° 2-3.
- Jorgenson, D. y otros (2004), *US market consequences of global climate change*, Documento preparado para el Pew Center on global Climate Change, Estados Unidos.
- Jouanno, J. y otros (2009), «The mesoscale variability in the Caribbean Sea. Part II: Energy sources», *Ocean Modelling*, vol. 26, N° 3-4.
- Julio, J. (2006), «Implementación, uso e interpretación del Fan Chart», *Revista Colombiana de Estadística*, vol. 29.
- Junguito, R. y C. Herrera (2006), «La agricultura y la inserción en América Latina», *Archivos de Economía*, Departamento Nacional de Planeación, Colombia, vol., Documento de Trabajo, N° 309.
- Kalnay, E. y otros (1996), «The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project», *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 77, N° 3.
- Karl, T. y otros (1993), «Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature», *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 74, N° 6.
- Karmalkar, A., R. Bradley y H. Díaz (2008), «Climate change scenario for Costa Rican montane forests», *Geophysical Research Letters*, vol. 35.
- Kathleen, S. y B. Dixon (1998), «Climate change and agriculture: The role of farmer adaptation.», Capítulo 3, *The Economics of Climate Change*, R. Mendelsohn y J. Neumann (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Kellenberg, D. y A. Mobarak (2008), «Does rising income increase or decrease damage risk from natural disasters? », *Journal of Urban Economics*, vol. 63, N° 3.
- Kemp-Benedict, E., C. Heaps y P. Raskin (2002), «Global scenario group futures: Technical notes», Stockholm Environment Institute-Boston [en línea] <<http://www.gsg.org>>, Boston, Mass.
- Klauer, A. (2005), *El Niño-La Niña: El fenómeno océano-atmosférico del pacífico sur, un reto para la ciencia y la historia* [en línea] <[www.eumed.net/libros/2005/ak6/](http://www.eumed.net/libros/2005/ak6/)>.
- Klinedinst, P. y otros (1993), «The potential effects of climate change on summer season dairy cattle milk production and reproduction», *Climatic Change*, vol. 23, N° 1.
- KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) (2010), «Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. Ministerie van Infrastructuur en Milieu» [en línea] <<http://www.knmi.nl/>>.
- Knutson, T. y R. Tuleya (1999), «Increased hurricane intensities with CO<sub>2</sub>-induced warming as simulated using the GFDL hurricane prediction system», *Climate Dynamics*, vol. 15, N° 7.
- Knutson, T. y otros (2001), «Impact of CO<sub>2</sub>-induced warming on hurricane intensities as simulated in a hurricane model with ocean coupling», *Journal of Climate*, vol. 14, N° 11.
- Krinner, G. y otros (2005), «A dynamic global vegetation model for studies of the coupled atmosphere-biosphere system», *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 19, N° 1.
- Kuik, O., L. Brander y R. Tol (2009), «Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions: A meta-analysis», *Energy Policy*, vol. 37, N° 4.
- Kuik, O. y otros (2008), «Post-2012 climate policy dilemmas: A review of proposals», *Climate Policy*, vol. 8, N° 3.
- Kurtenbach, S. (2010), «Why is liberal peace-building so difficult? Some lessons from Central America», *European Review of Latin American and Caribbean Studies*, vol. 88.
- La Gaceta (2002), *Leyes y decretos. Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica*, San José.
- La Prensa (2009), «Llegaron al puerto de Corinto los 130 buses enviados por Rusia», *Diario La Prensa*, 13 de mayo, Managua, Nicaragua.
- Landa, R., V. Magaña y C. Neri (2008), «Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático», Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
- Lao, E. (1999), *Diagnóstico de la caoba (Swietenia macrophylla King) en Mesoamérica: Panamá*, Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Lavell, A. (2002), «Local level risk management. Concepts and experience in Central America», Documento para presentación en: the Disaster Preparedness and Mitigation Summit, Nueva Delhi, India.
- Lawton, R. y otros (2001), «Climatic impact of tropical lowland deforestation on nearby montane cloud forests», *Science*, vol. 294, N° 5542.
- Leamer, E. y otros (1999), «How does the North American Free Trade Agreement affect Central America?», *Research working papers*, Banco Mundial.
- Leary, N., J. Kulkarni y C. Seipt (2007), *Assessment of impacts and adaptation to climate change (AIACC): final report*, AIACC Implementing Agency of the United Nations Environment Programme (UNEP), Washington, D. C.



- Leguía, E. y otros (2008), «Servicios ecosistémicos e hidroenergía en Costa Rica», *Ecosistemas*, vol. 17, N° 1.
- Levitus, S., J. Antonov y T. Boyer (2005), «Warming of the world ocean, 1955–2003», *Geophysical Research Letters*, vol. 32, N° 2.
- Lizano, O. y W. Fernández (1996), «Algunas características de las tormentas tropicales y de los huracanes que atravesaron o se formaron en el Caribe adyacente a Costa Rica durante el período 1886-1988», *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 3, N° 1.
- Loa, E. y otros (1996), «Uso de la Biodiversidad», *La biodiversidad biológica de México. Estudio de país*, México, CONABIO.
- Loayza, N. (2009), *Natural disasters and growth: Going beyond the averages*, Banco Mundial.
- Loayza, N., F. Fajnzylber y C. Calderón (2005), *Economic growth in Latin America and the Caribbean: Stylized facts, explanations, and forecasts*, Publicaciones del Banco Mundial.
- López, A. (2009), «Política de la Subregión Centroamericana hacia el V Foro Mundial del Agua. Estambul 2009», Red Intersectorial de Organismos del Agua (RIO-AGUA Centroamérica).
- López, C. (1998), «Retorno financiero de las actividades agrícola, forestal y ecoturismo en el volcán San Pedro, Guatemala», CATIE.
- López, R. (2009), *Natural disasters and the dynamics of intangible assets*, Banco Mundial.
- Losilla, M. (2001), *Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central*, Universidad de Costa Rica.
- Lovejoy, T. y L. Hannah (2005), *Climate change and biodiversity*, Yale University Press, New Haven, Connecticut.
- Lu, M. y otros (2003), «Analysis of humidity halos around trade wind cumulus clouds», *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 60.
- Luijten, J., L. Miles y E. Cherrington (2006), «Land use change modelling for three scenarios for the MAR region», *Technical report. Watershed Analysis for the Mesoamerican Reef Data CD*, World Resources Institute. Washington, D. C.
- Mabey, N. y otros (1997), *Argument in the Greenhouse: The international economics of controlling global warming*, Global Environmental Change, Psychology Press.
- Machinea, J., J. Martín y A. Bárcena (2004), *Desarrollo productivo en economías abiertas*, CEPAL.
- Macías, J., M. Guy y I. Hollar (2007), «La evolución del crecimiento económico», en Desruelle, D. y A. Schipke, *América Central: Crecimiento económico e integración*, Occasional paper, N° 257, FMI.
- Madden, R. y P. Julián (1972), «Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period», *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 29, N° 6.
- Maddison, D., M. Manley y P. Kurukulasuriya (2007), «The impact of climate change on African agriculture: A Ricardian approach», *Policy Research Working Paper*, 4306, Banco Mundial.
- Maderey, L. y A. Jiménez (2000), «Los recursos hidrológicos del centro de México ante un cambio climático global», *México, Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México*.
- MAE (Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica)/IMN (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica) (1996), *Inventario Nacional de fuentes y sumidero de gases de efecto invernadero de Costa Rica*, Costa Rica.
- MAG (Ministerio de Agricultura de Costa Rica) (1992), «Uso de la Tierra en Costa Rica», Costa Rica.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador) (2008), «Información del sector agropecuario, 2007», El Salvador.
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala)/UPI (Unidad de Políticas e Información Estratégica de Guatemala) (2007), «Estadísticas de producción agropecuaria», Guatemala.
- Magaña, V., J. Amador y S. Medina (1999), «The midsummer drought over Mexico and Central America», *Journal of Climate*, vol. 12, N° 6.
- MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua) (2008), «Información estadística anual de producción agropecuaria (ciclo agrícola 2006/2007 y período pecuario 2008)», Nicaragua.
- Magrin, G. y otros (2007), *Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden y CE Hanson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Manabe, S. y R. Wetherald (1980), «On the distribution of climate change resulting from an increase in CO<sub>2</sub> content of the atmosphere», *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 37.
- Mansilla, E. (2008a), «Afectación de viviendas por desastres y marginación en México», Documento insumo para el GAR (Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction), 2009.
- \_\_\_\_ (2008b), «Centroamérica a 10 años de Mitch. Reflexiones en torno a la reducción del riesgo», CEPREDENAC (Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central) Banco Mundial.
- \_\_\_\_ (2008c), «Marco general de riesgo en El Salvador», Documento insumo para el GAR (Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction), 2009.
- MARENA (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Nicaragua) (2010), *Estrategia Nacional Ambiental y del Cambio Climático – Plan de Acción 2010-2015*, Managua.

- \_\_\_\_\_. (2008), *Segundo Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*, Managua.
- \_\_\_\_\_. (2007), *Propuesta Plan ambiental de Nicaragua 2007-2011*, Managua.
- \_\_\_\_\_. (2004), *Atlas Forestal*, Managua.
- \_\_\_\_\_. (2001), *Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, Nicaragua, Nicaragua.
- Markandya, A. y S. Pedroso-Galinato (2009), *Economic modeling of income, different types of capital and natural disasters*, Banco Mundial.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala) (2009), *Política Nacional de Cambio Climático*, Guatemala.
- \_\_\_\_\_. (2007), *Inventario de Gases de Efecto Invernadero año 2000 (Versión Preliminar). Proyecto Fortalecimiento de las Capacidades Nacionales en Sistematización de los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero y las Comunicaciones Nacionales*, Guatemala.
- \_\_\_\_\_. (2001), «Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático», Guatemala.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador) (2009), *Inventario nacional de gases de efecto invernadero. Segunda comunicación nacional de cambio climático*, El Salvador.
- \_\_\_\_\_. (2000a), *Impactos del cambio climático en el sector agropecuario de la zona costera de El Salvador*, San Salvador.
- \_\_\_\_\_. (2000b), *Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, El Salvador.
- \_\_\_\_\_. (2004), *Política de áreas naturales protegidas*, San Salvador.
- MARN/GEF (Global Environment Facility)/PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo) (2001), *Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector salud*, Primera Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático.
- Martínez, B. (2011), «Elaboración de escenarios de cambio climático. Generación de climatología histórica y escenarios de climatología, acorde a las necesidades de las evaluaciones sectoriales del estudio 'La economía del cambio climático en Centroamérica'», Informe de Consultor, Proyecto «La economía del cambio climático en Centroamérica».
- Martínez, G. y K. Sosa (2009), *El Salvador. Programa de Gobierno 2009-2014*, San Salvador.
- Masera, O., A. Cerón y A. Ordóñez (2001), «Forestry mitigation options for Mexico: Finding synergies between national sustainable development priorities and global concerns», *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 6, N° 3.
- McCarl, B., R. Adams y B. Hurd (2001), «Global climate change and its impact on agriculture».
- McMichael, A. y S. Kovats (1999), «El tiempo, el clima y la salud», en *Boletín de la Organización Meteorológica Mundial*, vol. 48, N° 1.
- Meehl, G. y otros (2007), «Global climate projections», *Capítulo 10 en: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Cambridge University Press, págs. 747-845.
- \_\_\_\_\_. (2005), «How much more global warming and sea level rise? », *Science*, vol. 307, N° 5716.
- MEF (Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá) (2009), «Informe económico anual, 2008», Panamá.
- Mendelsohn, R. (2007), «Past climate change impacts on agriculture», *Handbook of Agricultural Economics*, vol. 3.
- Mendelsohn, R. (ed.) (2001), *Global warming and the American economy: a regional assessment of climate change impacts*, Edward Elgar.
- Mendelsohn, R., J. Arellano-González y P. Christensen (2010), «A Riparian analysis of Mexican farms», *Environment and Development Economics*, vol. 15, N° 02.
- Mendelsohn, R. y otros (2007), «Climate and rural income», *Climatic Change*, vol. 81, N° 1.
- Mendelsohn, R., A. Dinar y A. Sanghi (2001), «The effect of development on the climate sensitivity of agriculture», *Environment and Development Economics*, vol. 6, N° 01.
- Mendelsohn, R., W. Nordhaus y D. Shaw (1994), «The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis», *The American Economic Review*, vol. 84, N° 4.
- Mendelsohn, R. y N. Seo (2007), «Changing farm types and irrigation as an adaptation to climate change in Latin American agriculture», *World Bank Policy Research Series Working Paper*, N° 4161, Banco Mundial.
- Méndez, J. (2008), «El manejo silvicultural policíclico en bosques húmedos de bajura en la Región Norte de Costa Rica», CODEFORSA, Ciudad Quesada.
- Menkhaus, S. y D. Lober (1996), «International ecotourism and the valuation of tropical rainforests in Costa Rica», *Journal of Environmental Management*, vol. 47, N° 1.
- Merayo, O. (1999), «Valoración económica del agua potable en la cuenca del río En medio Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica», *Tesis de Maestría*, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

- Miaou, S. (1990), «A class of time series urban water demand models with nonlinear climatic effects», *Water Resources Research*, vol. 26, N° 2.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá) (2008), «Cartilla agropecuaria, 2007», Panamá.
- MIDEPLAN (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica) (2007), *Plan Nacional de Desarrollo «Jorge Manuel Dengo Obregón»: 2006 - 2010*, San José, Costa Rica.
- Miller, K. (2009), «Land under siege: Recent variations in sea level through the Americas», *Sustainable Development Working Paper*, vol. 32.
- Mills, T. (2003), *Modelling trends and cycles in economic time series*, Palgrave Macmillan.
- Milly, P. y otros (2002), «Increasing risk of great floods in a changing climate», *Nature*, vol. 415, N° 6871.
- MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica) (2009), *Estrategia Nacional de Cambio Climático*, Costa Rica.
- \_\_\_\_ (1997), «Mapa de la cobertura de la tierra en Costa Rica», Costa Rica.
- MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica)/IMN (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica) (2009a), *Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, Costa Rica.
- \_\_\_\_ (2009b), «Inventario Nacional de emisiones de gases con efecto invernadero y de absorción de carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005», Gobierno de Costa Rica.
- \_\_\_\_ (2009c), *Inventario Nacional de gases con efecto invernadero y de absorción de carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005*, Costa Rica.
- MINAET y otros (1999), *Estudios de cambio climático en Costa Rica, componente bosques: vulnerabilidad de los bosques de Costa Rica ante el cambio climático, período de predicción 1999 - 2030*, San José, Costa Rica.
- MINSAP (Ministerio de Salud Pública de Cuba) (1982), *Teoría y administración de salud*, Colección del Estudiante de Medicina, Dirección Docente Metodológica, Texto Básico.
- Mitchell, T. y P. Jones (2005), «An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids», *International Journal of Climatology*, vol. 25, N° 6.
- MNRE (Belize Ministry of Natural Resources and the Environment) (2008), *Government of Belize Policy on adaptation to global climate change*, Gobierno de Belice.
- \_\_\_\_ (2007), *Belize country report, Second National Communication to the UNFCCC*, Belmopan, Belice.
- \_\_\_\_ (2002), «First National Communication to the Conference of the Parties of the United Nations Framework Convention on Climate Change», Belice.
- Molua, E. y C. Lambi (2007), «The economic impact of climate change on agriculture in Cameroon», *Policy Research Working Paper*, vol. 4364.
- Monterrosa, M. (1998), «Evaluación de los impactos del cambio climático en el sector agropecuario de la zona costera de El Salvador», *Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.
- Mora, I. y J. Amador (2000), «El ENOS, el IOS y la corriente en chorro de bajo nivel en el oeste del Caribe», *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 7, N° 1.
- Mora, J. y otros (2010a), «Guatemala: efectos del cambio climático sobre la agricultura» (LC/MEX/L.963), CEPAL, México, D. F.
- \_\_\_\_ (2010b), «Panamá: efectos del cambio climático sobre la agricultura» (LC/MEX/L.971), CEPAL, México, D. F.
- Mora, J. y A. Yúnez-Naude (2008), «Climate change and migration in rural Mexico», *World Bank Report, Latin American Division*.
- Muir-Wood, R., S. Miller y A. Boissonade (2006), «The search for trends in a global catalogue of normalized weather-related catastrophe losses», *Workshop on Climate Change and Disaster Losses: Understanding and Attributing Trends and Projections*, págs. 188–194.
- Muñoz, E. (2007), «Índice de avance de la reforma estructural en Centroamérica y Panamá durante los años noventa», *Ciencias Económicas*, vol. 25, N° 1.
- Murphy, J. y otros (2004), «Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations», *Nature*, vol. 430, N° 7001.
- Nagy, G. y otros (2006), «Understanding the potential impact of climate change and variability in Latin America and the Caribbean», estudio preparado para el Stern Review on the Economics of Climate Change, HMT (Her Majesty Treasury).
- Nakamura, H., T. Izumi y T. Sampe (2002), «Interannual and decadal modulations recently observed in the Pacific storm track activity and East Asian winter monsoon», *Journal of Climate*, vol. 15.
- Nakicenovic, N. y otros (2000), «Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change», Cambridge University, Cambridge, Reino Unido.

- Neilson, R. (1995), «A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance», *Ecological Applications*, vol. 5, N° 2.
- NMS (Belize National Meteorological Service)/MNRE (Ministry of Natural Resources and the Environment) (2007), «Belize Country Report Second National Communication to the UNFCCC», Belmopan, Belice.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2010a), «Geophysical Fluid Dynamics Laboratory» [en línea] <<http://www.gfdl.noaa.gov/>>.
- \_\_\_\_ (2010b), «Hurricane Research Division. Re-Analysis Project», Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory [en línea] <<http://www.aoml.noaa.gov/>>.
- Nordhaus, W. (2008), *A question of balance: Weighing the options on global warming policies*, Yale University Press.
- \_\_\_\_ (2007a), «A review of the “Stern Review on the Economics of Climate Change”», *Journal of Economic Literature*.
- \_\_\_\_ (2007b), «Economics. Critical assumptions in the Stern Review on climate change», *Science*, vol. 317, N° 5835.
- \_\_\_\_ (2006), «The economics of hurricanes in the United States», Snowmass, CO: Annual Meetings of the American Economic Association.
- \_\_\_\_ (1991), «To slow or not to slow: The economics of the greenhouse effect», *The economic journal*, vol. 101, N° 407.
- Nordhaus, W. y J. Boyer (2003), *Warming the world: Economic models of global warming*, The MIT Press.
- Noy, I. (2009), «The macroeconomic consequences of disasters», *Journal of Development Economics*, vol. 88, N° 2.
- Núñez, L., M. Grosjean y I. Cartajena (2001), «Human dimensions of late Pleistocene/Holocene arid events in southern South America», *Interhemispheric Climate Linkages*.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) (2008), *Prospectiva medioambiental de la OCDE para el 2030: resumen en español*, París, Francia.
- OIT (Organización Internacional del Trabajo) (2003), *Panorama laboral 2003: América Latina y el Caribe*, Lima, Perú.
- Okuyama, Y. (2007), «Economic modeling for disaster impact analysis: past, present, and future», *Economic Systems Research*, vol. 19, N° 2.
- Okuyama, Y. y S. Sahin (2009), *Impact estimation of disasters: A global aggregate for 1960 to 2007*, Banco Mundial.
- OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) (2008), «Sistema de Información Económica Energética (SIEE)» [en línea] <<http://sieve.olade.org/sieve/default.asp>>.
- \_\_\_\_ (2007), *Informe de Estadísticas Energéticas* [en línea] <<http://www.olade.org.ec/sites/default/files/publicaciones/IEE-2007.pdf>>.
- Oliveira, K. (1996), «Valoración económica de bienes y servicios ambientales en sistemas agrícolas en San Miguel, Petén, Guatemala», *Tesis en opción al título de Maestro en Ciencias*, CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- OMC (Organización Mundial de Comercio) (2008), «Organización Mundial de Comercio» [en línea] <<http://www.wto.org/indexsp.htm>>.
- OMS (Organización Mundial de la Salud)/UNICEF (United Nations International Children's Emergency Fund) (2010), *OMS/UNICEF joint monitoring programme (JMP) for water supply and sanitation* [en línea] <<http://www.wssinfo.org/en/welcome.html>> [accedido: 20 de octubre de 2010].
- OMT (Organización Mundial de Turismo) (2010), «Organización Mundial de Turismo» [en línea] <<http://unwto.org/en>>.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas) (2005), «Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015, aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres», *Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres*, Kobe, Hyogo, Japón.
- \_\_\_\_ (1989), *A User's Manual to the Population Projection Computer Programme of the Population Division of the United Nations* (ESA/P/WP.77), Nueva York.
- \_\_\_\_ (1997), «Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático», Kioto, Japón.
- \_\_\_\_ (1992), «Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático», Río de Janeiro.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud) (2007), «Organización Panamericana de la Salud» [en línea] <<http://www.ops.org.bo>>.
- \_\_\_\_ (2002), *Status report on malaria programs in the Americas (based on 2001 data)*, Washington, D. C.
- Ordaz, J. y otros (2010a), «Costa Rica: efectos del cambio climático sobre la agricultura» (LC/MEX/L.972), CEPAL, México, D. F.
- \_\_\_\_ (2010b), «El Salvador: efectos del cambio climático sobre la agricultura» (LC/MEX/L.969) CEPAL, México, D. F.
- \_\_\_\_ (2010c), «Honduras: efectos del cambio climático sobre la agricultura» (LC/MEX/L.965), CEPAL, México, D. F.
- Ordóñez, J. (2004), *Índices de contenido y captura de carbono en áreas forestales*, Ciudad de México, UNAM.
- Overpeck, J. y otros (2006), «Paleoclimatic evidence for future ice-sheet instability y rapid sea-level rise», *Science*, vol. 311.



- Padilla, R. y otros (2008), "Evolución reciente y retos de la industria manufacturera de exportación en Centroamérica, México y República Dominicana: una perspectiva regional y sectorial", *Estudios y perspectivas*, N° 95, Unidad de Comercio Internacional e Industria, CEPAL, México.
- Palca, J. (1986), «Climatic prediction: Could this be an El Niño?», *Nature*, vol. 324, N° 6097.
- Paniagua, A. (2002), «La producción forestal no controlada: enfoque de cadena y opciones para el desarrollo forestal participativo en el Municipio de El Castillo, Río San Juan, Nicaragua», Informe del Consultor, Managua, Nicaragua.
- Pape, E. y L. Ixcot (1998), «Economía ambiental y desarrollo sostenible: valoración económica del Lago de Amatitlán», FLACSO, Editorial Serviprensa, Guatemala.
- Parmesan, C. (2006), «Ecological and evolutionary responses to recent climate change», *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 37.
- Parry, M. y otros (2004), «Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios», *Global Environmental Change*, vol. 14, N° 1.
- Pastor, C. (2010), *Estándares técnicos, ambientales y sociales para la producción de biocombustibles en Mesoamérica, como producto de exportación y consumo interno*, Informe para el Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), San Salvador, El Salvador.
- Pauly, D. y otros (2003), «The future for fisheries», *Science*, vol. 302, N° 5649.
- Pearce, D. (1992), *Economic valuation and the natural world*, Office of the Vice President, Development Economics, Banco Mundial.
- PEN (Programa Estado de la Nación, Costa Rica) (2011), «Estado de la Nación» [en línea] <<http://www.estadonacion.or.cr/index.php/estadisticas/centroamerica/mapas/581-mapas-ca-densidad-de-poblacion>>.
- Penman, H. (1948), «Natural evaporation from open water, bare soil and grass», *Proceedings of the Royal Society of London, Series A. Mathematical and Physical Sciences*, vol. 193, N° 1032.
- Pérez, G. (2008), «La necesidad de establecer políticas integrales de infraestructura, transporte y logística», *Boletín FAL* N° 263.
- Pérez, G., G. Cipoletta y R. Sánchez (2009), *Infraestructura y servicios de transporte y su relación con el séptimo Objetivo de Desarrollo del Milenio*, CEPAL, Santiago de Chile.
- Pielke Jr., R. (2007), «Mistreatment of the economic impacts of extreme events in the Stern Review Report on the Economics of Climate Change», *Global Environmental Change*, vol. 17, N° 3-4.
- Pielke Jr., R. y otros (2003), «Hurricane vulnerability in Latin America and the Caribbean: Normalized damage and loss potentials», *Natural Hazards Review*, vol. 4.
- PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo) (2007), *Informe sobre desarrollo humano 2007-2008: la lucha contra el cambio climático: solidaridad frente a un mundo dividido*, Informe sobre Desarrollo Humano, Nueva York.
- PNUD/GEF (Global Environmental Fund)/MARN (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala) (2005), *Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, Guatemala, Guatemala.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (2009), *GEO LAC 3: Latin America and The Caribbean. Environment Outlook*, Naciones Unidas.
- \_\_\_\_\_ (2007a), *Global Environmental Outlook 4*.
- \_\_\_\_\_ (2007b), «Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO4. Resumen para los tomadores de decisiones».
- \_\_\_\_\_ (1992), «Convenio sobre la Diversidad Biológica» [en línea] <<http://www.cbd.int>>.
- PNUMA/ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá)/CATHALAC (Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe) (2009), «GEO Panamá, 2009, Informe del Estado del Ambiente» [en línea] <<http://www.pnuma.org/deat1/pdf/GeoPanama2009.pdf>>.
- PNUMA/CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo)/SICA (Sistema de Integración Centroamericana) (2010), *Propuesta para el establecimiento de un Fondo Mesoamericano para el Pago por Servicios Ambientales*.
- \_\_\_\_\_ (2005), «GEO Centroamérica. Perspectivas del medio ambiente 2004».
- PNUMA/DEWA (Division of Early Warning Assessment)/GRID (Global Resource Information Database) (2009), «Global Resource Information Database (GRID)-Europe» [en línea] <<http://www.grid.unep.ch/>>.
- PNUMA/MEDDTL (Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement) (2009), *Sustainable Coastal Tourism. An integrated planning and management approach*, París, Francia, UNEP.
- PNUMA/PCFV (Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios) (2007), *Abriendo la puerta a los vehículos limpios en países en desarrollo y en transición: el papel de los combustibles de bajo azufre*, Informe del Grupo de trabajo sobre azufre de la Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV), Nairobi.
- PNUMA/PNUD/EIRD (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres)/Banco Mundial (2010), «Global Risk Data Platform. The PREVIEW» [en línea] <<http://preview.grid.unep.ch/index.php>>.
- PNUMA/PNUD/FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2010), «Programa ONU - REDD, Informe de actividades 2010» [en línea] <<http://www.un-redd.org/>>.

- PNUMA/UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2004), «Carpeta de información sobre el cambio climático».
- Porras, C. (2008), *Oferta de madera en pie*, FUNDECOR, Costa Rica.
- Pounds, J. (1999), «Climate and amphibian declines», *Science*, vol. 284.
- Pounds, J. y otros (2006), «Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming», *Nature*, vol. 439, N° 7073.
- Pounds, J. y M. Crump (1994), «Amphibian declines and climate disturbance: The case of the golden toad and the harlequin frog», *Conservation Biology*, vol. 8, N° 1.
- Pounds, J., M. Fogden y J. Campbell (1999), «Biological response to climate change on a tropical mountain», *Nature*, vol. 398, N° 6728.
- Priestley, C. y R. Taylor (1972), «On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters», *Monthly Weather Review*, vol. 100, N° 2.
- PROCOMER (Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica) (2009), «Estadísticas de exportación, 2008», Costa Rica.
- PROMEBIO (Programa Estratégico de Monitoreo y Evaluación de la Biodiversidad) (2010), *Estado actual y futuro de la biodiversidad en Centroamérica*, Reporte Técnico.
- Quadri, G. (2009), *Potencial de mitigación de emisiones de GEI en Centroamérica*, Informe de consultor, Proyecto «La economía del cambio climático en Centroamérica».
- Raddatz, C. (2009), *The wrath of God: Macroeconomic costs of natural disasters*, Banco Mundial.
- Raghavan, S. y S. Rajesh (2003), «Trends in tropical cyclone impact: A study in Andhra Pradesh, India», *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 84, N° 5.
- Ramanathan, V., B. Barkstrom y E. Harrison (1989), «Climate and the earth's radiation budget», *Physics Today*, vol. 42, N° 5.
- Ramírez, A. y A. Aguilar (2009), *Diseño de programas de iluminación eficiente en los sectores residencial, comercio y servicios en la región centroamericana*, Proyecto BID/GTZ/CEPAL, Documento de trabajo interno.
- Ramírez, D., J. Ordaz y J. Mora (2010), «Istmo Centroamericano: efectos del cambio climático sobre la agricultura» (LC/MEX/L.924/Rev.1), CEPAL, México, D. F.
- Ramírez, D. y otros (2010a), «Belice: efectos del cambio climático sobre la agricultura», (LC/MEX/L.962), CEPAL, México, D. F.
- \_\_\_\_\_ (2010b), «Nicaragua: efectos del cambio climático sobre la agricultura» (LC/MEX/L.964), México, D. F.
- Ramírez, F. (2008), «Marco general de riesgo en los países andinos», Documento insumo para el GAR (Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction), 2009.
- Ramírez, P. (1983), «Estudio meteorológico de los veranillos en Costa Rica», *Nota de Investigación (Costa Rica)*, vol. 5.
- Rao, S., I. Keppo y K. Riahi (2006), «Importance of technological change and spillovers in long-term climate policy», *The Energy Journal*, vol. 1.
- Rasmussen, T. (2004), *Macroeconomic implications of natural disasters in the Caribbean*, International Monetary Fund.
- Renshaw, E. (1992), «Using a consensus of leading economic indicators to find the right ball park for real GNP forecasts», en Lahiri, K. y G. H. Moore (eds), *Leading economic indicators: New approaches and forecasting records*.
- Retamal, M. (2006), «Valoración económica de la oferta del servicio ecosistémico hídrico para consumo humano en el municipio de Copán Ruinas, Honduras», CATIE.
- Ricketts, B., V. Caron y C. Nelson (2004), «A fluid flow perspective on the diagenesis of Te Aute limestones», *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, vol. 47, N° 4.
- Roberts, C. y otros (2002), «Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs», *Science*, vol. 295, N° 5558.
- Robledo Hernández, J. (2001), «Estimación económica de las principales externalidades de uso y manejo de los recursos naturales, en la subcuenca Matanzas, del río Polochic, Guatemala y propuesta de internalización monetaria», CATIE.
- Rodríguez, J. (2002), «Valoración económica del recurso agua en la comunidad Frijolares, Güinope, Honduras», Tesis.
- Rodríguez, M., J. Delgado y I. Álvarez (2005), «Difusión tecnológica y convergencia económica: un análisis de las regiones y los sectores productivos españoles», *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. 5, N° 18.
- Rogers, J. (1988), «Precipitation variability over the Caribbean and tropical Americas associated with the Southern Oscillation», *Journal of Climate*, vol. 1, N° 2.
- Rojas, M. y J. Echeverría (2003), «Estimación de la demanda sectorial del agua en Centroamérica bajo tres escenarios futuros: 2010-2030-2050», San José, Costa Rica.
- Rojas, M. y otros (2003), *El cambio climático y los humedales en Centroamérica: Implicaciones de la variación climática para los ecosistemas acuáticos y su manejo en la región*, San José, Costa Rica.



- Roldán, C. (2010), *Análisis del subsector transporte*, Informe de consultor, Proyecto La economía del cambio climático en Centroamérica.
- \_\_\_\_\_. (2009), *Producción de biodiesel a partir de Jatropha*, Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Romanenko, V. (1961), «Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area», *Proceedings Ukrainian Hydrometeorological Research Institute (Kiev)*, vol. 3.
- Root, T. L. y otros (2003), «Fingerprints of global warming on wild animals y plants», *Nature*, vol. 421.
- Ropelewski, C. y M. Halpert (1987), «Global and regional scale precipitation patterns associated with ENSO», *Monthly Weather Review*, vol. 115.
- Ros, J. (2004), «El crecimiento económico en México y Centroamérica: desempeño reciente y perspectivas», *Estudios y Perspectivas*, N° 18, CEPAL, México, D. F.
- Rosa, H., D. Herrador y M. González (1999), «Valoración y pago por servicios ambientales: Las experiencias de Costa Rica y El Salvador», *Prisma*, vol. 35.
- Rose, A. y S. Liao (2005), «Modeling regional economic resilience to disasters: A computable general equilibrium analysis of water service disruptions», *Journal of Regional Science*, vol. 45, N° 1.
- Rosenzweig, C. y M. Parry (1994), «Potential impact of climate change on world food supply», *Nature*, vol. 367, N° 6459.
- Rowntree, P. (1990a), «Estimates of future climatic change over Britain. Part 1: Mechanisms and models», *Weather*, vol. 45, N° 2.
- \_\_\_\_\_. (1990b), «Estimates of future climatic change over Britain. Part 2: Results», *Weather*, vol. 45, N° 5.
- Ruiz, J. (1999), «Modelo distribuido para la evaluación de recursos hídricos», *Monografías del CEDEX*, vol. 67.
- Sachs, J. y A. Warner (1995), *Natural resource abundance and economic growth*, National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass.
- Sachs, J. y otros (1995), «Economic reform and the process of global integration», *Brookings papers on economic activity*.
- Sadovy, Y. (2005), «Trouble on the reef: the imperative for managing vulnerable and valuable fisheries», *Fish and Fisheries*, vol. 6, N° 3.
- Sadowski, N. y D. Sutter (2005), «Hurricane fatalities and hurricane damages: Are safer hurricanes more damaging? », *Southern Economic Journal*, vol. 72, N° 2.
- SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras)/ INFOAGRO (Información Agrícola) (2006), «Información sobre el sector agropecuario», Honduras.
- Salgado, L. (1996), «Valoración económica del agua para uso urbano, proveniente del parque nacional La Tigra, Tegucigalpa, Honduras», CATIE.
- Salinger, M. (2005), «Climate variability and change: Past, present and future – an overview», *Climatic Change*, vol. 70, N° 1.
- San Jose, J., R. Montes y M. Farinas (1998), «Carbon stocks and fluxes in a temporal scaling from a savanna to a semi-deciduous forest», *Forest Ecology and Management*, vol. 105, N° 1-3.
- Sassi, O., R. Crassous y J. Hourca (2005), *Induced technical change in the transportation sector and induced mobility*, International Energy Workshop, Kyoto, Japón.
- Schatan, C., M. Montiel e I. Romero (2010), «Cambio climático y retos para el sector turismo de Centroamérica», *Estudios y perspectivas*, N° 123, CEPAL, México, D. F.
- Schimmelpfennig, D. y otros (1996), «Agricultural adaptation to climate change», *US Department of Agriculture, Natural Resources and Environment Division, Economic Research Service*, Washington, D. C.
- Schlenker, W., W. Hanemann y AC Fisher (2006), «The impact of global warming on US agriculture: An econometric analysis of optimal growing conditions», *Review of Economics and Statistics*, vol. 88, N° 1.
- Schleupner, C. (2007), «Evaluating the regional coastal impact potential to erosion and inundation caused by extreme weather events and tsunamis», *Working Papers FNU* [en línea] <[http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/schleupner\\_WP\\_MI](http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/schleupner_WP_MI)>.
- Schultz, D., W. Bracken y L. Bosart (1998), «Planetary-and synoptic-scale signatures associated with Central American cold surges», *Monthly Weather Review*, vol. 126, N° 1.
- Scott, D., B Jones y G. McBoyle (2006), «Climate, tourism & recreation. A bibliography - 1936 to 2006», University of Waterloo.
- Scurlock, J. y D. O. Hall (1998), «The global carbon sink: A grassland perspective», *Global Change Biology*, vol. 4, N° 2.
- SECMA (Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano) (2004), «Contribución del sistema financiero al crecimiento económico en Centroamérica y República Dominicana», Documento de trabajo.
- \_\_\_\_\_. (2003), «Determinantes del crecimiento económico en Centroamérica y República Dominicana», Documento de Trabajo.
- Segerson, K. y B. Dixon (1999), «Climate change and agriculture: the role of farmer adaptation», *The impact of climate change on the United States economy*.
- Segura, M. (1999), «Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central», CATIE, Costa Rica.
- SEI (Stockholm Environment Institute)/FB (Fundación Bariloche) (2004), *Manual de Usuario para la versión 2004 del LEAP*.

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2000), *Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales*, México.
- \_\_\_\_ (2009), «Programa Especial de Cambio Climático», *Diario Oficial de la Federación*, vol. 28, México, D. F.
- \_\_\_\_ (2008), *Informe de la situación del Medio Ambiente en México* [en línea] <[http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_2008/index\\_informe\\_2008.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/index_informe_2008.html)>.
- Sen, A. (1999), *Development as freedom*, Oxford University Press.
- Sena Jr., F. (1997), «Valoración económica de las actividades de recreación en el lago Cachí, Cartago, Costa Rica», CATIE.
- Seo, S. y R. Mendelsohn (2008a), «A Ricardian analysis of the impact of climate change on South American farms», *Chilean Journal of Agricultural Research*, vol. 68, N° 1.
- \_\_\_\_ (2008b), «An analysis of crop choice: Adapting to climate change in South American farms», *Ecological Economics*, vol. 67, N° 1.
- \_\_\_\_ (2008c), «Measuring impacts and adaptations to climate change: A structural Ricardian model of African livestock management», *Agricultural Economics*, vol. 38, N° 2.
- \_\_\_\_ (2007a), «A Ricardian analysis of the impact of climate change on Latin American farms», *World Bank Policy Research Series Working Paper*, N° 4163, Banco Mundial, Washington, D.C.
- \_\_\_\_ (2007b), «Climate change impacts on animal husbandry in Africa: A Ricardian analysis», *World Bank Policy Research Working Paper*, N° 4621, Banco Mundial, Washington, D. C.
- Seo, S., R. Mendelsohn y M. Munasinghe (2005), «Climate change and agriculture in Sri Lanka: A Ricardian valuation», *Environment and Development Economics*, vol. 10, N° 05.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria de Costa Rica) (2009), «Boletín estadístico agropecuario número 19», Costa Rica.
- SERNA (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras) (2000), *Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Honduras*, Tegucigalpa, Honduras.
- SERNA/PNCC (Programa Nacional de Cambio Climático)/ PNUD (2008), *Segundo Inventario de Emisiones y Sumideros de Gases Efecto Invernadero en Honduras año 2000*, Honduras.
- SERNA/PNUD (2009), «Informe anual de proyecto Segunda Comunicación Nacional».
- Shen, W., R. Tuleya y I. Ginis (2000), «A sensitivity study of the thermodynamic environment on GFDL model hurricane intensity: Implications for global warming», *Journal of Climate*, vol. 13, N° 1.
- Shultz, S., J. Pinazzo y M. Cifuentes (1998), «Opportunities and limitations of contingent valuation surveys to determine national park entrance fees: evidence from Costa Rica», *Environment and Development Economics*, vol. 3, N° 01.
- SICA (Sistema de Integración Centroamericana)/CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo) (2009), *Estrategia Centroamericana para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos*.
- \_\_\_\_ (2007), *Diagnóstico de la normativa técnica sobre calidad del aire en Centroamérica*, San Salvador, El Salvador.
- \_\_\_\_ (2005), *Actores, agendas y procesos en la gestión de los recursos hídricos de Centroamérica*, Proyecto políticas y legislación ambiental CCAD-COSUDE, San Salvador.
- SICA/CEPREDENAC (Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central) (2010), «CEPREDENAC. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central» [en línea] <[http://www.sica.int/cepredenac/contexto\\_reg.aspx](http://www.sica.int/cepredenac/contexto_reg.aspx)>.
- SICA/CCAD/CAC (Consejo Agropecuario Centroamericano) (2008), *Estrategia Regional Agroambiental y de Salud - de Centroamérica - 2009-2024*, Centroamérica.
- SICA/CCAD/PROARCA (Proyecto Ambiental Regional para Centroamérica, Componente de Manejo de las Zonas Costeras)/UCR (Universidad de Costa Rica) (2001), «Proyecto: “Base de datos e informe sobre el estado de las áreas costero-marinas en América Central”, Informe técnico 2001», Costa Rica.
- SICA/CCRH (Comité Regional de Recursos Hidráulicos del Istmo Centroamericano)/UCR (Universidad de Costa Rica) (2006), «Impacts and adaptation to climate change and extreme events in Central America».
- SIECA (Secretaría de Integración Económica Centroamericana)/DGTI (Dirección General de Tecnología e Información) (2005), «Secretaría de Integración Económica Centroamericana» [en línea] <<http://www.sieca.int>>.
- SIECA (2007), «Centroamérica: tarifas de servicios públicos y salarios mínimos vigentes al 2007».
- SINIA (Sistema de Información Ambiental de Nicaragua)/MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua) (2008), *Medio ambiente en cifras. Nicaragua 2004-2007*, Managua, Nicaragua.
- SITCA (Secretaría Técnica del Consejo Centroamericano de Turismo) (2008), «Secretaría Técnica del Consejo Centroamericano de Turismo» [en línea] <<http://www.sica.int/cct/>>.
- Sivakumar, M. y C. Valentín (1997), «Agroecological zones and the assessment of crop production potential», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, vol. 352, N° 1356.

- Skidmore, M. y H. Toya (2002), «Do natural disasters promote long-run growth?», *Economic Inquiry*, vol. 40, N° 4.
- Smit, B., D. McNabb y J. Smithers (1996), «Agricultural adaptation to climatic variation», *Climatic Change*, vol. 33, N° 1.
- Smith, J. (1996), «Standardized estimates of climate change damages for the United States», *Climatic Change*, vol. 32, N° 3.
- Sojo, A. (2007), «La trayectoria del vínculo entre políticas selectivas contra la pobreza y políticas sectoriales», *Revista de la CEPAL*, vol. 91.
- Solano, F. (1999), «El proceso de institucionalización de la meteorología en Costa Rica en el siglo XIX», *Tesis de Licenciatura en Historia, Escuela de Historia, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Costa Rica*.
- Solow, A., J. Broadus y S. Polasky (1993), «On the measurement of biological diversity», *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 24, N° 1.
- Solow, R. (1956), «A contribution to the theory of economic growth», *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 70, N° 1.
- Stern, N. (2008a), *Key elements of a global deal on climate change*, Citeseer, Londres, Reino Unido.
- \_\_\_\_\_. (2008b), «The economics of climate change», *The American Economic Review*, vol. 98, N° 2.
- \_\_\_\_\_. (2007), «The economics of climate change», *The Stern Review*, Cambridge University Press, Reino Unido.
- Strzepek, K. M. (1995), *As climate changes: international impacts and implications*, Cambridge University Press.
- Suárez, A. (2001), «Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica», Tesis M. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Suárez, D. (2002), «Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua», CATIE.
- Swanson, K. (2008), «Nonlocality of Atlantic tropical cyclone intensities», *Geochemistry Geophysics Geosystems*, vol. 9, N° 4.
- Talavera, P. (2002), «Valoración de productos y servicios derivados del Bosque Comunal Toncontín, Honduras», CATIE.
- Tattenbach (1999), «Valoración económica de los servicios ambientales: la experiencia de Costa Rica», SINADES [en línea] <<http://www.mideplan.go.cr/sinades/PUBLICACIONES/biodiversidad/index-7>>.
- Tay, A. y K. Wallis (2000), «Density forecasting: A survey», *Journal of Forecasting*, vol. 19.
- Taylor, M. y E. Alfaro (2005), *Climate of Central America and the Caribbean*, Países Bajos, primavera.
- Taylor, M. y otros (2007), «Glimpses of the future: A briefing from the PRECIS Caribbean Climate Change Project», Caribbean Community Climate Change Centre, Belmopan, Belice.
- Terjung, W., D. Liverman y J. Hayes (1984), «Climatic change and water requirements for grain corn in the North American Great Plains», *Climatic Change*, vol. 6, N° 2.
- Tharme, R. (1996), «Review of international methodologies for the quantification of the instream flow requirements of rivers», *Water Law Review Report Commissioned by the Department of Water Affairs and Forestry*.
- The Nature Conservancy (2010), «Reef Resilience. Building resilience into coral reef conservation» [en línea] <<http://www.reefresilience.org/index.html>>.
- Thornthwaite, C. (1948), «An approach toward a rational classification of climate», *Geographical Review*, vol. 38, N° 1.
- Tiessen, H. y otros (1998), «Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forest», *Climatic Change*, vol. 40, N° 1.
- Titus, J. (1992), «The costs of climate change to the United States», *Global climate change: implications, challenges and mitigation measures*.
- Tobías y Mendelshon (1994), *Excedente del consumidor derivado de visitas a una selva pluvial de Costa Rica*. En Mounasinghe, Mohan (1994). *Aspectos ambientales y decisiones económicas en los países en desarrollo*, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES).
- Tobías, D. y R. Mendelsohn (1991), «Valuing ecotourism in a tropical rain-forest reserve», *Ambio*.
- Todd, G. (2003), «WTO background paper on climate change and tourism», *Proceedings of the First International Conference on Climate Change and Tourism*, Djerba, pág. 9–11.
- Tol, R. (2009), «The economic effects of climate change», *The Journal of Economic Perspectives*, vol. 23, N° 2.
- \_\_\_\_\_. (2003), «Is the uncertainty about climate change too large for expected cost-benefit analysis?», *Climatic Change*, vol. 56, N° 3.
- \_\_\_\_\_. (1995), «The damage costs of climate change toward more comprehensive calculations», *Environmental and Resource Economics*, vol. 5, N° 4.
- \_\_\_\_\_. (1993), «The climate fund: Survey of literature on cost and benefits», *Working Document W93/01*, Free University of Amsterdam.
- Tol, R. y G. Yohe (2009), «The Stern Review: A deconstruction», *Energy Policy*, vol. 37, N° 3.
- \_\_\_\_\_. (2006), «A review of the Stern Review», *World Economics*, vol. 7, N° 4.
- Toya, H. y M. Skidmore (2007), «Economic development and the impacts of natural disasters», *Economics Letters*, vol. 94, N° 1.

- Trenberth, K. y otros (2007), «Observations: Surface and atmospheric climate change», en *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., y H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York.
- Trenberth, K. y D. Stepaniak (2001), «Índices de El Niño evolution», *Journal of Climate*, vol. 14, N° 8.
- Turc, L. (1961), «Estimation of irrigation water requirements, potential evapo-transpiration: A simple climatic formula evolved up to date», *Annales Agronomiques*, vol. 12.
- (1954), «Le bilan d'eau des sols. Relation entre la précipitation, l'évaporation et l'écoulement», *Annales Agronomiques*, vol. 5.
- UEA (University of East Anglia) (2010), «Climatic Research Unit» [en línea] <<http://www.cru.uea.ac.uk/>>.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)/FLACSO (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales) (2008), «Adaptación al cambio climático en Centroamérica basado en consideraciones y prácticas de gestión de riesgo», Documento no publicado. Consultor del proyecto de componente eventos extremos: Elizabeth Mansilla.
- UNDG (United Nations Development Group) (2009), «Guidelines for UN Country Teams on preparing a CCA and UNDAF» [en línea] <<http://www.undg.org/?P=232>>.
- UNE (Unidad Nacional de Esperanza de Guatemala) (2007), «Plan de Gobierno “El Plan de la Esperanza” 2008-2032».
- UNFPA (Fondo de Población de las Naciones Unidas) (2010), «El estado de la población mundial 2002: población, pobreza y oportunidades» [en línea] <[http://www.unfpa.org/swp/2002/swpmain\\_spa.htm](http://www.unfpa.org/swp/2002/swpmain_spa.htm)>.
- UN-Hábitat (2007), «Global Report on Human Settlements», Nueva York.
- UN-Millennium Project (2005), «Invirtiendo en el Desarrollo: Un plan práctico para conseguir los Objetivos de Desarrollo del Milenio 2004-2006», Comisionado por the UN Secretary General and Supported by the UN Development Group.
- Uribe, A. y otros (1999), «Reducing vulnerability to natural hazards: Lessons learned from hurricane Mitch. A strategy paper on Environmental Management», Banco Interamericano de Desarrollo.
- USAID (United States Agency for International Development) (2009), *Modelos de negocios: una guía para lograr negocios que permitan generar ingresos para la conservación de cuencas y biodiversidad*, USAID, Estados Unidos.
- USAID/NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)/Coastal Resources Center, University of Rhode Island (2009), *Adapting to coastal climate change. A guidebook for development planners*.
- UVic (University of Victoria) (2010), «Pacific Climate Impacts Consortium» [en línea] <<http://www.pacificclimate.org/tools-and-data/regional-analysis-tool>>.
- Valero, J. y M. Narro (2005), «Análisis de convergencia en productividad agraria en las regiones europeas», *Economía Agraria y Recursos Naturales*, vol. 5, N° 10.
- Van Zonneveld, M. y otros (2009), «Climate change impact predictions on *Pinus patula* and *Pinus tecunumanii* populations in Mexico and Central America», *Forest Ecology and Management*, vol. 257, N° 7.
- Varmola, M. (2002), *Melina (Gmelina arborea) in Central America*, Working Papers, N° FP/20, FAO, Roma, Italia.
- Vecchi, G. y T. Knutson (2008), «On estimates of historical North Atlantic tropical cyclone activity», *Journal of Climate*, vol. 21, N° 14.
- Vega, E. (2008), «Importancia económica de las áreas naturales», *The Nature Conservancy*, vol. 54, N° 100.
- Vega, E. y L. Gámez (2003), «Implicaciones económicas de los eventos hidrometeorológicos en Costa Rica: 1996-2001».
- Veldkamp, A. y L. Fresco (1996), «CLUE-CR: An integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica», *Ecological modelling*, vol. 91, N° 1-3.
- Verburg, P. y otros (2002), «Land use change modelling at the regional scale: The CLUE-S model», *Environmental Management*, vol. 30, N° 3.
- Vergara, W. (2009), «Climate hotspots: Climate-induced ecosystem damage in Latin America», *Sustainable Development Working Paper*, vol. 32.
- Wallis, K. (2003), «Chi-squared tests of interval and density forecasts, and the Bank of England's fan charts», *International Journal of Forecasting*, vol. 19, N° 2.
- Walsh, C. (2003), *Monetary theory and policy*, the MIT Press.
- Walther, G. y otros (2002), «Ecological responses to recent climate change», *Nature*, vol. 416, N° 6879.
- Warrick, R. (1984), «The possible impacts on wheat production of a recurrence of the 1930s drought in the US Great Plains», *Climatic Change*, vol. 6, N° 1.
- Waylen, P., C. Caviedes y M. Quesada (1996), «Interannual variability of monthly precipitation in Costa Rica», *Journal of Climate*, vol. 9, N° 10.



- Waylen, P., M. Quesada y C. Caviedes (1996), «Temporal and spatial variability of annual precipitation in Costa Rica and the Southern Oscillation», *International Journal of Climatology*, vol. 16, N° 2.
- WCP (World Climate Programme) (1981), «On the assessment of the role of CO<sub>2</sub> on climate variations and their impact», World Climate Programme, Ginebra.
- Weitzman, M. (2007a), «A review of the Stern Review on the economics of climate change», *Journal of Economic Literature*, vol. 45, N° 3.
- \_\_\_\_ (2007b), *The role of uncertainty in the economics of catastrophic climate change*, AEI-Brookings Joint Center for Regulatory Studies.
- \_\_\_\_ (1992), «On diversity», *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 107, N° 2.
- Whitfield, S. y otros (2007), «Amphibian and reptile declines over 35 years at La Selva, Costa Rica», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104, N° 20.
- Whittingham, E., J. Campbell y P. Townsley (2003), «Poverty and reefs. A global overview», IMM Ltd/DFID/UNESCO, vol. 1.
- Wigley, T. (2008), «MAGICC/SCENGEN 5.3: User Manual (Version 2)», National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder, Colorado.
- \_\_\_\_ (2005), «The climate change commitment», *Science*, vol. 307, N° 5716.
- Wigley, T. y S. Raper (2005), «Extended scenarios for glacier melt due to anthropogenic forcing», *Geophysical Research Letters*, vol. 32, N° 5.
- \_\_\_\_ (1987), «Thermal expansion of sea water associated with global warming», *Nature*, vol. 320.
- Wild, A. (1992), «Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell», Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España, vol. 1045.
- Williams, J., S. Jackson y J. Kutzbach (2007), «Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104, N° 14.
- Windevoxhel, N. (1992), «Valoración económica parcial de los manglares de la región II de Nicaragua», CATIE.
- Winograd, M. y otros (2000), *Indicadores de sustentabilidad rural. Una visión para América Central*, CIAT- Banco Mundial-PNUMA.
- Wisner, B. (2004), *At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*, Psychology Press.
- Wong, S. (1972), «A model on municipal water demand: A case study of Northeastern Illinois», *Land Economics*, vol. 48, N° 1.
- WRI (World Resources Institute) (2010), «Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) » [en línea] <<http://www.wri.org/>>.
- \_\_\_\_ (2009), «Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) » [en línea] <<http://www.earthtrends.wri.org>>.
- WWC (World Water Council)/CNA (Comisión Nacional del Agua de México) (2006), «VI Foro Mundial del Agua Informe de la región de Latinoamérica», México.
- WWF (World Wildlife Fund) (2010), «Mesoamerican Reef. Projects» [en línea] <<http://www.worldwildlife.org/what/wherewework/mesoamericanreef/projects.html>>.
- Xu, C. y V. Singh (1998), «Dependence of evaporation on meteorological variables at different time-scales and intercomparison of estimation methods», *Hydrological processes*, vol. 12, N° 3.
- Yohe, G. y M. Schlesinger (2002), «The economic geography of the impacts of climate change», *Journal of Economic Geography*, vol. 2, N° 3.
- Zapata, R. (2004), *Centroamérica: Evaluación de los daños ocasionados por el huracán Mitch, 1998. Sus implicaciones para el desarrollo económico y social y el medio ambiente*, CEPAL, México, D. F.
- Zárate, E. (1990), «Breve caracterización de un evento ENSO en Costa Rica y acciones de pronóstico durante la época lluviosa del Pacífico de 1990», Montevideo, Uruguay.
- Zeng, Z., Y. Wang y C. Wu (2007), «Environmental dynamical control of tropical cyclone intensity: An observational study», *Monthly Weather Review*, vol. 135, N° 1.
- Zhao, Z. y otros (2005), «Recent studies on attributions of climate change in China», *Acta Meteorológica SINICA-English Edition*, vol. 19, N° 4.